1. Band. 13. Heft. Preis: 1 Mark.

Der Mensch.

Von

Prof. Dr. Johannes Ranke.

Zweite, gänzlich neubearbeitete Auflage.

26 Lieferungen oder 2 Bände mit mehr als 1000 Abbildungen im Text, 6 Karten und 35 Tafeln in Farbendruck.

Leipzig und Wien.

Verlag des Bibliographischen Instituts.

1894.

Inhalt: Textbogen 37—40, I; Tafeln: Schematische Darstellung der Zellteilung und Befruchtung — Stufenfolge der Körperentwickelung des Menschen.

Meyers Volksbücher.

(Preis jeder Nummer 10 Pfennig.)

Soeben erschienen folgende Bändchen, von denen jedes einzeln käuflich ist:

Nr. 1001—1004. **Tausendundeine Nacht.** Eine Auswahl aus der schönsten morgenländischen Märchensammlung. Erster Band.
- 1005—1008. **Tausendundeine Nacht.** Eine Auswahl aus der schönsten morgenländischen Märchensammlung. Zweiter Band.
- 1009—1011. **Brüder Grimm**, *Kinder- und Hausmärchen.*
- 1012—1014. **Friedrich Hebbel**, *Die Nibelungen.* Ein Trauerspiel in drei Abteilungen.
- 1015. **Die Säugetiere.** Aus Brehms Tierleben.
- 1016. **Die Vögel.** Aus Brehms Tierleben.
- 1017. 1018. **K. J. Ph. Spitta**, *Psalter und Harfe.* Geistliche Lieder.
- 1019. **M. Mendheim**, *Hauffs Leben und Werke.*
- 1020. **A. Schullerus**, *Gellerts Leben und Werke.*

Vor kurzem erschienen:

Nr. 941—944. **L. Uhland**, *Gedichte.*
- 945. 946. **H. Ibsen**, *Gespenster.* Ein Familiendrama in drei Akten. Übersetzt von G. Morgenstern.
- 947—954. **L. Ariosto**, *Der rasende Roland.* Übersetzt von J. D. Gries. Erster Teil.
- 955—962. **L. Ariosto**, *Der rasende Roland.* Übersetzt von J. D. Gries. Zweiter Teil.
- 963—969. **G. Sand**, *Lelia.* Aus dem Französischen von Fr. Bremer.
- 970. 971. **Kirchenlieder.** Achtzig der schönsten Kirchengesänge.
- 972. **Bret Harte**, *Ein fahrender Ritter der Foot-Hills.* Aus dem Englischen von O. Dittrich.
- 973. 974. **L. Uhland**, *Dramatische Dichtungen.*
- 975. 976. **M. Petersen**, *Die Irrlichter.*
- 977. 978. **Chr. von Schmid**, *Genoveva.*
- 979. 980. **A. E. Eberhard**, *Hannchen und die Küchlein.*
- 981—985. **A. G. von Staël-Holstein**, *Deutschland.* Erster Teil.
- 986—990. **A. G. von Staël-Holstein**, *Deutschland.* Zweiter Teil.
- 991—995. **Mark Twain**, *Skizzen.* Aus dem Englischen von H. Löwe.
- 996—998. **Th. Gyllembourg**, *Konrad und Hanna.* Aus dem Dänischen von M. v. Andechs.
- 999. **Körner**, *Die Gouvernante.*
- 1000. **Das Patentgesetz und die Musterschutzgesetze des Deutschen Reiches.**

Ausführliche Verzeichnisse gratis durch jede Buchhandlung.

Der Mensch.

Erster Band.

Holzfreies Papier.

Der Mensch.

Von

Prof. Dr. Johannes Ranke.

Zweite, gänzlich neubearbeitete Auflage.

Erster Band.

Entwickelung, Bau und Leben des menschlichen Körpers.

Mit 650 Abbildungen im Text und 26 Farbendrucktafeln
von Dr. W. Etzold, Emil Eyrich, Georg Klepzig, Gustav Mützel, Adrian Walker u. a.

Leipzig und Wien.
Bibliographisches Institut.
1894.

Vorwort zur ersten Auflage.

Das vorliegende Buch gliedert sich in zwei Hauptteile.

Der erste handelt im allgemeinen über Entwickelung, Bau und Leben des menschlichen Körpers.

Der zweite bespricht die körperlichen Verschiedenheiten der modernen und vorgeschichtlichen Menschenrassen sowie die aus dem Boden bisher erhobenen vorgeschichtlichen Kulturüberreste, namentlich der europäischen Urvölker von der Eiszeit bis zum Aufdämmern der Geschichte in Mitteleuropa.

Das Buch umfaßt sonach nicht das Gesamtgebiet der modernen Anthropologie, zu welcher, abgesehen von der Ethnographie, als besonders wichtige Teile die Psychophysik und Völkerpsychologie gehören. Erstere wird bei dem Abriß der Anatomie und Physiologie des Nervensystems im ersten Bande nur in ihren äußersten Grenzlinien gestreift, auf letztere wirft der zweite Band, namentlich das dort beschriebene stoffliche Inventar der Kulturentwickelung der Urzeit, einige Schlaglichter.

Die Grundlage aller in diesem Buche enthaltenen Betrachtungen bildet der allgemein anerkannte Satz, daß in gesetzmäßiger, d. h. logischer Weise die gesamte animale Welt in körperlicher Beziehung zu einer idealen Einheit zusammengeschlossen ist, an deren Spitze der Mensch steht. In diesem Sinne ist das Tierreich der zergliederte Mensch und der Mensch das Paradigma des gesamten Tierreiches.

Gemäß dem Ausspruch des Altmeisters in der Wissenschaft vom animalen Leben, Johannes Müllers: „Die Hypothese gehört nur in das Laboratorium des Forschers“, wurden die Hypothesen aus den Darstellungen der Forschungsergebnisse, soweit irgend thunlich, ausgeschlossen. Ebenso absichtlich wurden, den bisherigen Traditionen der exakten Anthropologie in Deutschland entsprechend, alle Übergriffe von dem Boden der Naturbeobachtung auf jenen der Politik, Philosophie und Religion vermieden. Es verbietet das schon die Würde der Wissenschaft, deren Ergebnisse und Fragen, um wertvoll und interessant zu sein, keiner „pikanten“ Seitenblicke nach

fremden Gebieten bedürfen. Dazu kommt aber noch eine weitere Erwägung. Man hat bisher nur zu häufig, namentlich in populär-naturwissenschaftlichen Werken, den augenblicklichen Standpunkt der naturwissenschaftlichen, ewig wechselnden Hypothese mit den ebenso schwankenden politisch-philosophischen Tagesmeinungen verquickt; so mußte notwendig in dem der exakten Naturforschung ferner stehenden Publikum die verhängnisvolle Meinung erweckt werden, als gäbe es naturwissenschaftliche Dogmen, welche den höchsten Idealen des Menschengeistes feindselig gegenüberstehen. Es wäre ein Lohn für die Mühen unserer besten Forscher, wenn es auf dem Gebiete der Anthropologie gelänge, diesem volksverderbenden Irrtum Schranken zu setzen.

Die zahlreichen dem Texte beigegebenen Abbildungen wurden zum weitaus größten Teil nach Originalen neu hergestellt; eine geringe Anzahl ist wahrhaft klassischen über die betreffenden Kapitel handelnden Monographien und Werken entnommen. Den Künstlern spreche ich hiermit für ihre trefflichen Leistungen meinen besten Dank aus.

München, Frühjahr 1886.

Johannes Ranke.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Bei dem raschen Fortschritt der Einzeldisziplinen der Lehre vom Menschen waren, um das Buch auf dem von der I. Auflage eingenommenen wissenschaftlichen Standpunkt zu erhalten, nicht nur in allen Abschnitten sorgfältige Revisionen, sondern zum Teil auch größere Umgestaltungen des Textes notwendig; namentlich in der Entwickelungsgeschichte, Kraniologie, Kraniometrie, Rassenkunde, Prähistorie u. a. a. O.

Im allgemeinen wurde überall mehr Nachdruck auf die anatomische Beschreibung gelegt, da ohne exakte Kenntnis der Anatomie, dieser Hauptgrundlage aller anthropologischen Forschung, ein sicheres Verständnis der Resultate der letzteren unmöglich ist.

Ich hoffe, daß das Buch in seiner neuen Auflage nicht nur vollständiger, sondern auch, ohne an dem allgemein verständlichen und doch exakten Charakter der Darstellung eingebüßt zu haben, vielseitig brauchbarer geworden ist.

München, Frühjahr 1894.

Johannes Ranke.

Inhalts-Verzeichnis.

Entwickelung, Bau und Leben des menschlichen Körpers.

Einleitung.

I. Entwickelungsgeschichte.

II. Die niederen Organe.

III. Die höheren Organe.

Verzeichnis der Abbildungen.

Farbendrucktafeln.

Abbildungen im Text.

Entwickelung, Bau und Leben des menschlichen Körpers.

Einleitung: Allgemeine Übersicht über Bau und Verrichtungen des menschlichen Körpers.

Inhalt: Ästhetisch-künstlerische und wissenschaftliche Betrachtung der Menschengestalt. — Das Knochengerüst und die Körpermessung. — Die Muskeln und der Wille. — Das Nervensystem. — Das Gefäßsystem. — Die Eingeweide. — Schema des Körperbaus des Menschen.

Ästhetisch-künstlerische und wissenschaftliche Betrachtung der Menschengestalt.

Wie uns in frühen Stadien seiner Entwickelung der Körper des Menschen unter der Form teils paralleler, teils unter bestimmten Winkeln sich kreuzender Wellenzüge des organischen Bildungsstoffes entgegentritt, so können wir auch den Körper des Erwachsenen noch mit einer Wasserwelle vergleichen.

Durch einen Ruderschlag erzeugt, läuft die Welle über die glatte, spiegelnde Wasserfläche für unser Auge als ein einheitliches körperliches Formwesen. Sie ist der Ausdruck einer Summe rhythmischer Bewegungen wechselnder, immer neuer, immer anderer Wasserteilchen. Die Welle, deren Lauf wir einen Augenblick verfolgen, ist schon im nächsten Augenblick eine andere geworden, körperlich aus anderen Stoffteilen anders zusammengesetzt. Die Stoffteile, welche, in diesem Moment in die Wellenbewegung hineingezogen, den aufsteigenden Wellenteil durch ihre eigne Bewegung formten, bilden jetzt den Wellengipfel, und nun schwanken sie als absteigender Wellenrücken in den blauen Meeresspiegel zurück, der sich mit all den ungezählten Atomen seiner Wasser wie still atmend hebt und senkt.

Der Körper der Welle formt sich durch die Bewegung der Wasseratome; in jedem Zeitteilchen wechselt der Stoff, welcher den Wellenkörper bildet. Der Stoff, der in die Welle eintrat, verändert zunächst den Ort innerhalb des Wellenkörpers selbst, dann sehen wir ihn wieder aus der Welle austreten, und diese bezieht, zum Ersatz für den verlorenen, neuen Stoff in ihren Körper ein. Jedes Wasseratom des Wellenkörpers bewegt sich für sich in seinen der Richtung und Stärke des Anstoßes entsprechenden Bahnen, gleichsam unbekümmert um seine Nachbarteilchen; aber die Körperform der Gesamtwelle entsteht als Summe der Bewegungen aller gleichzeitig in der Welle schwingenden Atome.

Zunächst erscheint uns die gesamte Menschheit unter dem Bilde einer Welle, die über die bewohnte Erde hingeht, den ihr sich darbietenden organischen Stoff ergreifend, formend und ihn dann dem Meere von Stoffen zurückgebend, die dem organischen Leben dienen. Wie die Welle als Gesamtheit fortschreitet, so wechseln die Generationen, und die Bewegung des Wasseratomes, welches einen Augenblick lang die Welle formen hilft, entspricht dem Leben des einzelnen

Menschen. Aber nicht nur die Gesamtheit des Menschengeschlechts wechselt in ihrer Zusammensetzung wie eine Welle; noch viel mehr ins einzelne gehend gilt der Vergleich für den Körper des Individuums selbst.

Durch eine Summe in Richtung und Stärke festbestimmter mechanischer Anstöße tritt der Stoff, aus dem sich der Menschenkörper in seinem ersten Anfang formt, das Protoplasma, in die Entwickelungsbewegung ein. Wir sehen in den frühesten Entwickelungsstadien der Körperbildung die Stoffteilchen von einer Fläche aus sich heben und senken, es entstehen zuerst auf beschränktem Raume einfache Wellenzüge des Bildungsstoffes. Indem sich diese einfachen Wellen in festen Richtungen durchschneiden und gegenseitig beeinflussen, bildet sich als Resultat der ersten Bewegungsanstöße die wunderbare, aus lebendem Stoff bestehende Wellenform, die wir unsern Körper nennen. In seine Bewegung wird immer neue Materie hineingezogen, diese wechselt ihren Ort in gesetzmäßiger Weise im Körper selbst und tritt endlich wieder aus dessen Form- und Bewegungsgemeinschaft in die Außenwelt zurück.

Der Körper des Menschen bleibt keinen Augenblick der gleiche an Form und Inhalt, und wenn auch, wie bei der ausgebildeten Wasserwelle, bei dem erwachsenen Menschen der Formwechsel ein vergleichsweise langsamer, in kleinen Zeitabschnitten ein fast unmerklicher geworden ist, so bietet uns dagegen die Naturwissenschaft Hilfsmittel dar, um den Stoffwechsel des Körpers, welcher diesen in jedem Augenblick zu einem dem Stoffe nach anders zusammengesetzten macht, ohne Schwierigkeit nachzuweisen.

Für den Naturforscher ist alle Form Bewegung; Bewegung ist die Ursache aller Formbildung, und unsere Sinne sind nur im stande, uns von Bewegungen Kunde zu geben. Was wir Licht, Farbe, Ton, Gestaltungsform, Körperlichkeit nennen, alles wird unseren Sinnen nur erfaßbar durch Bewegungen, welche sich als Anstöße auf die höheren Sinnesnerven geltend machen, und auch die Reizung der niederen Sinne unterliegt derselben allgemein gültigen Gesetzmäßigkeit. Nur eine falsche Deutung unserer Sinneseindrücke könnte uns hier irre führen, aber auch in dieser Beziehung ist die in der Sprache, als Erbteil der Jahrtausende, sich ausdrückende Erfahrungsweisheit des Menschengeschlechts der wissenschaftlichen Feststellung vorausgeeilt. Wir sprechen von Harmonien der Farben und Gestalten wie von Harmonien der Töne, und daß die letzteren auf Bewegungen außer uns beruhen, war zu keiner Zeit zweifelhaft. Man nannte den Körper des Menschen das Hohelied der schaffenden Natur.

Gewiß gibt es für die Empfindung des Menschen nichts Harmonischeres, nichts Vollendeteres, nichts Erfreulicheres als das Ideal der Menschengestalt.

Dieses Ideal wechselt, freilich immerhin in engen Grenzen, nach Rassenzugehörigkeit und Bildungsstand. Für die Empfindung der europäischen Völker hat der griechische Meißel der altklassischen Periode die menschliche Idealgestalt für alle Zeiten gefunden und festgehalten. Für uns Deutsche war es namentlich J. Winckelmann, welcher die Begeisterung für das altklassische Schönheitsideal des Menschenleibes voll zu wecken und zum Ausdruck zu bringen wußte. Ihm schien die berühmte Bildsäule des vatikanischen Apollon die Personifikation der göttlich-menschlichen Schönheit. Mag die moderne Kritik auch manche Ausstellungen versuchen, bis zur Höhe des bewundernden Verständnisses von Winckelmann ist es ihr, auch etwa in Beziehung auf andere, vielleicht noch vollendetere Überbleibsel der hellenischen Kunst, nicht gelungen, sich zu erheben.

„Die Statue des Apollon ist das höchste Ideal der Kunst unter allen Werken des Altertums, welche der Zerstörung entgangen sind. Er übertrifft alle anderen Bilder desselben so weit wie Homers Apoll den, welchen die folgenden Dichter malen. Über die Menschheit erhaben ist sein Wuchs, und sein Stand zeugt von der ihn erfüllenden Größe. Ein ewiger Frühling, wie in dem glücklichen Elysium, bekleidet die reizende Männlichkeit vollkommener Jahre und spielt mit sanfter

Zärtlichkeit auf dem stolzen Gebäude seiner Glieder." Winckelmann wird bei der näheren Beschreibung dieser göttergleichen Schönheit, die noch jeden, der sie im Original anschauen durfte, wie ein Zauber ergriffen hat, vollkommen zum begeisterten Dichter.

Die Einzeldifferenzen in der Körperbildung der verschiedenen Menschen sind sehr auffallend und zwar nicht nur zwischen Angehörigen verschiedener Völker und Rassen, sondern auch unter in sich durch das gemeinsame Band der Nationalität und Stammeszugehörigkeit geschlossenen Bevölkerungskreisen, ja Familien. Das künstlerische Ideal will die Menschengestalt gleichsam gereinigt von allen individuellen Besonderheiten zur Darstellung bringen. Aus den Untersuchungen von Quételet, Zeising und anderen ergibt sich, wie es scheint, mit vollkommener Bestimmtheit, daß die antike klassische Plastik das Ideal im wesentlichen in mittleren, aus der Beobachtung zahlreicher schön gewachsener Individuen abgeleiteten Körperverhältnissen fand. Quételet berechnete die individuellen Körperproportionen von einer Anzahl wohlgebildeter Angehörigen der belgischen Bevölkerung in ihrem Verhältnis zur Gesamtkörperhöhe. Er setzte die für letztere gefundene Zahlengröße bei jedem Individuum gleich 1000 und bestimmte, wieviel Tausendstel auf die einzelnen Körperabteilungen treffen. Indem er das Mittel aus diesen individuellen Bestimmungen zog, gelangte er zu der mittleren Körperform der Belgier, also gleichsam zu ihrem Körperideal. Ganz in der gleichen Weise wurden die Proportionen einiger besonders hervorragender plastischer Kunstwerke der antiken klassischen Periode gemessen und die Messungen auf die Gesamtkörperhöhe (= 1000) reduziert, schließlich die Einzelresultate wieder zu einem mittleren Resultat verbunden. Diese Durchschnittsmaße der Statuen weichen von den Durchschnittsmaßen der belgischen Männer so wenig ab, daß die Unterschiede kaum für das Auge erfaßbar sind. Immerhin fällt das belgische und das antik-griechische Körperideal nicht vollkommen zusammen. Bei den griechischen Statuen ist der Kopf kleiner und die Beckenbreite eine geringere, dagegen ist die Brust breiter, der Rumpf kürzer, aber sowohl die Arme als namentlich die Beine im ganzen etwas länger.

Nach den Nachrichten des Altertums gab es schon in den ältesten Bildhauerwerkstätten der Griechen eine bestimmte Regel, einen sogenannten Kanon, für die Maße des menschlichen Körpers. Dieser Kanon war, wie zahlreiche andere Elemente der griechischen Kultur, ursprünglich von Ägypten her überkommen, hat sich aber im Laufe der Zeit mit der höheren Ausbildung der griechischen Plastik wesentlich geändert. Am berühmtesten war im Altertum der Kanon des Polykleitos (Polyklet) von Sikyon; Polykleitos lebte im Perikleischen Zeitalter, also in der Blütezeit der griechischen Kunst. Sein berühmtes Kunstwerk selbst, der Lanzenträger, scheint verloren gegangen zu sein; doch beweist die bemerkenswerte Übereinstimmung in den Körperproportionen der besten antiken Statuen, daß sich die alten Künstler im allgemeinen treu an den Kanon hielten.

Wenn wir die verschiedenen Menschen miteinander vergleichen und einen wahren, wissenschaftlich haltbaren Begriff von den Verschiedenheiten bekommen wollen, welche die Körperbildung der Rassen und Individuen darbietet, so müssen wir, wie die Künstler, von einem als Maßstab dienenden Körperideal ausgehen, durch dessen Vergleichung wir uns die Abweichungen der Einzelformen anschaulich machen können. Für die europäischen Nationen würde es am zweckentsprechendsten sein, wie es einst die griechische Kunst anstrebte, eine mittlere Körpergestalt der Europäer als Körperideal zu dem genannten Zwecke zu gebrauchen. Die allgemeinen Verhältnisse solcher mittlerer Gestalten sind für jeden geläufig, und irgendwie stärkere Abweichungen oder Annäherungen an das uns ohne Messung bekannte Ideal machen sich schon vor der Vergleichung mit Zirkel und Maßstab dem Auge auffällig. Ein solches Ideal wäre sonach nicht etwa als das Ideal der gesamten Menschheit aufzufassen, sondern nur als das Ideal des europäischen Menschen. Es kann diesem dann das Ideal des ägyptischen, des mittelafrikanischen oder des

australischen Menschen und anderer mehr entgegengestellt werden. Erst aus der Verschmelzung aller Rassenideale zu einer mittleren Einheit würden wir das Idealbild der gesamten Menschheit erhalten.

Es ist das ein Problem, von dessen exakter Lösung wir noch außerordentlich weit entfernt sind. Ist doch auch das Ideal der europäischen Menschenform, wenn wir darunter die wahre Mittelform der Bevölkerung Europas verstehen, in naturwissenschaftlichem Sinne noch keineswegs gefunden. Hierzu würden Tausende von exakten, ganz ins einzelne gehenden Messungen an Angehörigen der verschiedenen europäischen Nationen und Stämme erforderlich sein, die noch nirgends vorliegen.

Dagegen hat, wie gesagt, die Kunst, deren höchste Vertreter nach dem Ausspruch Raffaels den Zirkel im Auge haben, eine ideale Körperform gefunden, welche, soweit darüber bis jetzt Messungen vorliegen, mit der wahren mittleren europäischen Körpergestalt wenigstens nahezu übereinstimmt und die auf jeden Beschauer den Eindruck des harmonischen Ebenmaßes der Gliederung hervorbringt. So erscheint es gestattet, diesen künstlerischen Maßstab zunächst auch den wissenschaftlichen Betrachtungen wenigstens zum Zwecke erster Orientierung zu Grunde zu legen. Immerhin ist es auch hier nicht ganz einfach, das Ebenmaß, welches wir als ein richtiges durch den allgemeinen Eindruck erkannt haben, nun auch nach Zahlenwerten zu definieren.

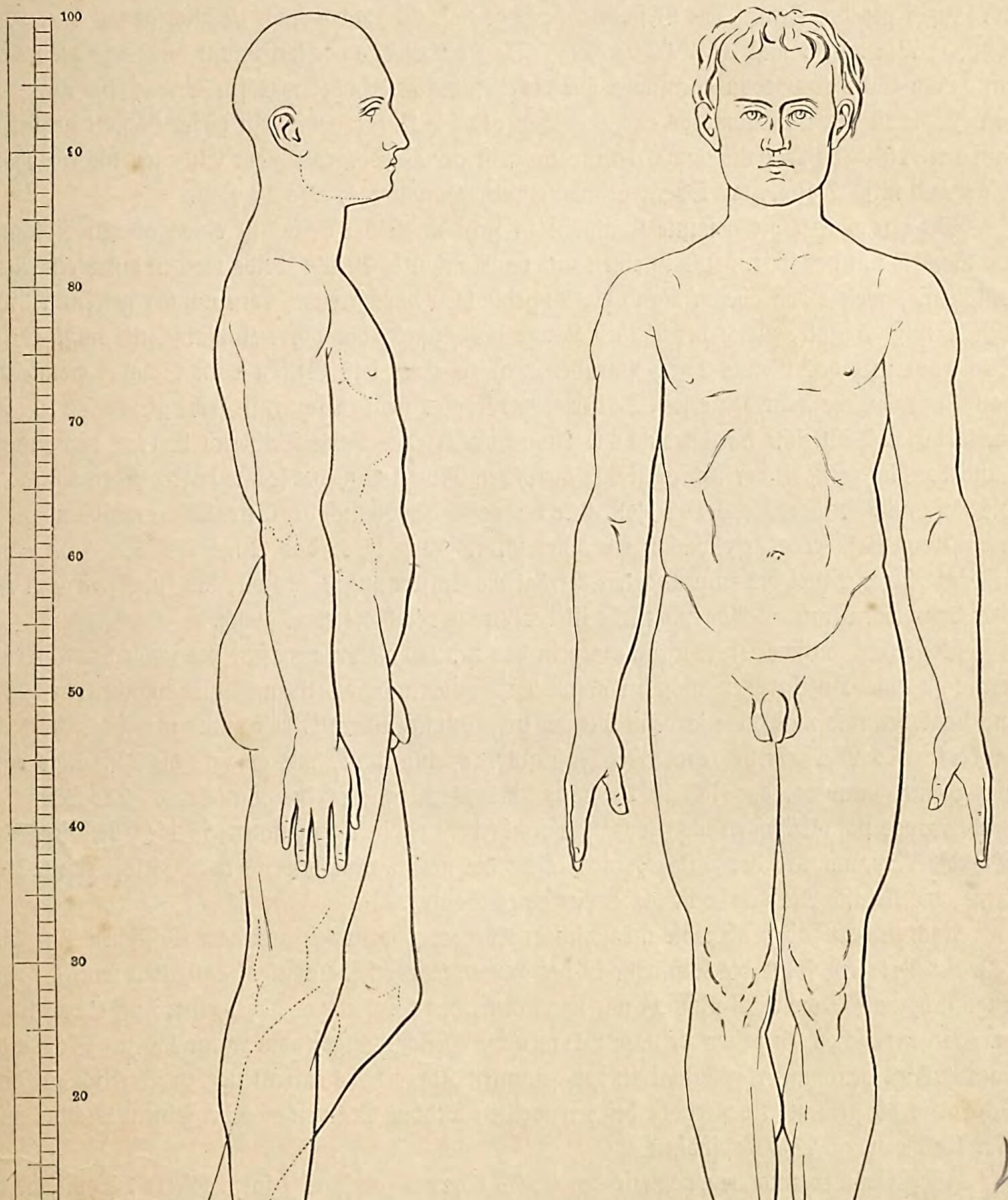
Wir verdanken namentlich zwei ausgezeichneten neueren deutschen Bildhauern, Schadow und Rietschel, wichtige Aufschlüsse über die uns hier beschäftigenden Fragen. Der erstere hat seine Untersuchungen in einem umfassenden Werke von den Maßen des Menschen mit zahlreichen vortrefflichen Abbildungen unter dem Titel „Polyklet" niedergelegt, in welchem die in der Natur beobachteten Verhältnisse mit einigen der besten modernen und antiken Kunstwerke verglichen werden.[1]

Die Verhältnisse der einzelnen Körperabschnitte einer wohlgewachsenen männlichen Gestalt mittlerer Größe erscheinen in hohem Grade harmonisch. Die Maße von Rumpf und Gliedern sind meist ein Vielfaches von 3 Zoll. Zunächst wiederholt sich in allen Hauptabteilungen des Rumpfes das Maß der gesamten Kopfhöhe zu 3 mal 3 = 9 Zoll: die senkrechte Höhe des ganzen Kopfes vom Scheitel bis zum Kinnrand[2], gleich der Entfernung vom Kinnrand bis zur Herzgrube, d. h. bis zu einer die beiden Brustwarzen verbindenden geraden Linie, gleich der Entfernung von der Herzgrube bis zum Nabel, gleich der Entfernung vom Nabel bis zum unteren Rumpfende, welches an der Rückseite des Körpers durch den unteren Rand der durch die Sitzmuskeln gebildeten Wölbung äußerlich annähernd markiert wird. Die gleiche Größe, d. h. 3 mal 3 Zoll oder die Kopfhöhe, beträgt die Entfernung der beiden Brustwarzen voneinander und die größte Dicke des Brustkorbes sowie die Dicke von der Mitte der Wölbung der Sitzmuskeln bis zum vorderen Rande des Oberschenkels. Bei größter Fingerspreize spannt die Hand ebenfalls 9 Zoll, ein Maß, welches die Italiener Palme nannten. Die doppelte Größe, zweimal die Kopfhöhe, d. h. also gleich 2 mal 3 mal 3 = 18 Zoll, beträgt der Abstand der größten Schulterbreite,

---

[1] Die Vergleichungsmethode beruht auf direkten Messungen, denen der rheinländische Fuß (1 Fuß = 12 Zoll, 1 Zoll etwa 0,0261 m) zu Grunde gelegt ist. Der Ursprung dieses Maßes leitet sich her vom Fuße eines Mannes von ungewöhnlicher Größe; der Fuß eines mittelgroßen Mannes pflegt nur 10 Zoll rheinisches Maß zu messen. Besonders lehrreich sind Abbildungen, welche Schadow mit Benutzung einer Figur von H. Vernet, deren Kopf er etwas erhöht, für einen wohlgewachsenen Mann mittlerer Größe, d. h. von 66 Zoll (5 Fuß 6 Zoll = 172 cm), gibt.

[2] Sie kann in der nebenstehenden Abbildung nur am Profilbilde gemessen werden, vom höchsten Punkte des Scheitels senkrecht herunter auf die punktierte Unterkieferlinie; in der Vorderansicht verläuft die Linie vom Kinn zum Scheitel schief und erscheint daher zu lang.



Körperproportion eines mittelgroßen Mannes (nach Schadow).

vom äußeren Rande der Oberarme aus gemessen, und die Entfernung der Standfläche bis zum unteren Rande der Kniescheibe. 10 mal 3 = 30 Zoll beträgt die größte Länge des hängenden Armes mit der Hand, und mit dieser Länge stimmt vollkommen überein jener Teil der Länge des Beines von dem unteren Rande der durch die Hervorragung der Sitzmuskeln gebildeten Wölbung

an bis zur Standebene. Das ganze Bein ist bei dem Erwachsenen dagegen stets nicht unbeträchtlich länger als der Arm. Die Gesamtkörperhöhe von 66 Zoll beträgt ziemlich genau 7½ Kopfhöhe = 7½ mal 3 mal 3 = 67½ Zoll. Die Klafterweite der horizontal ausgebreiteten Arme mißt nach Schadow etwa ebensoviel wie die Gesamtkörperhöhe, was für Erwachsene nur selten zutrifft; sie ist fast ausnahmslos etwas größer als die Körperhöhe. Zu dieser Gestalt gehört ein Fuß von 10—10¼ Zoll Länge, ebenso lang ist der Vorderarm, vom Ellbogen bis zur Hand. Die Hand mißt 7 Zoll, der Oberarm die doppelte Handlänge, also 14 Zoll.

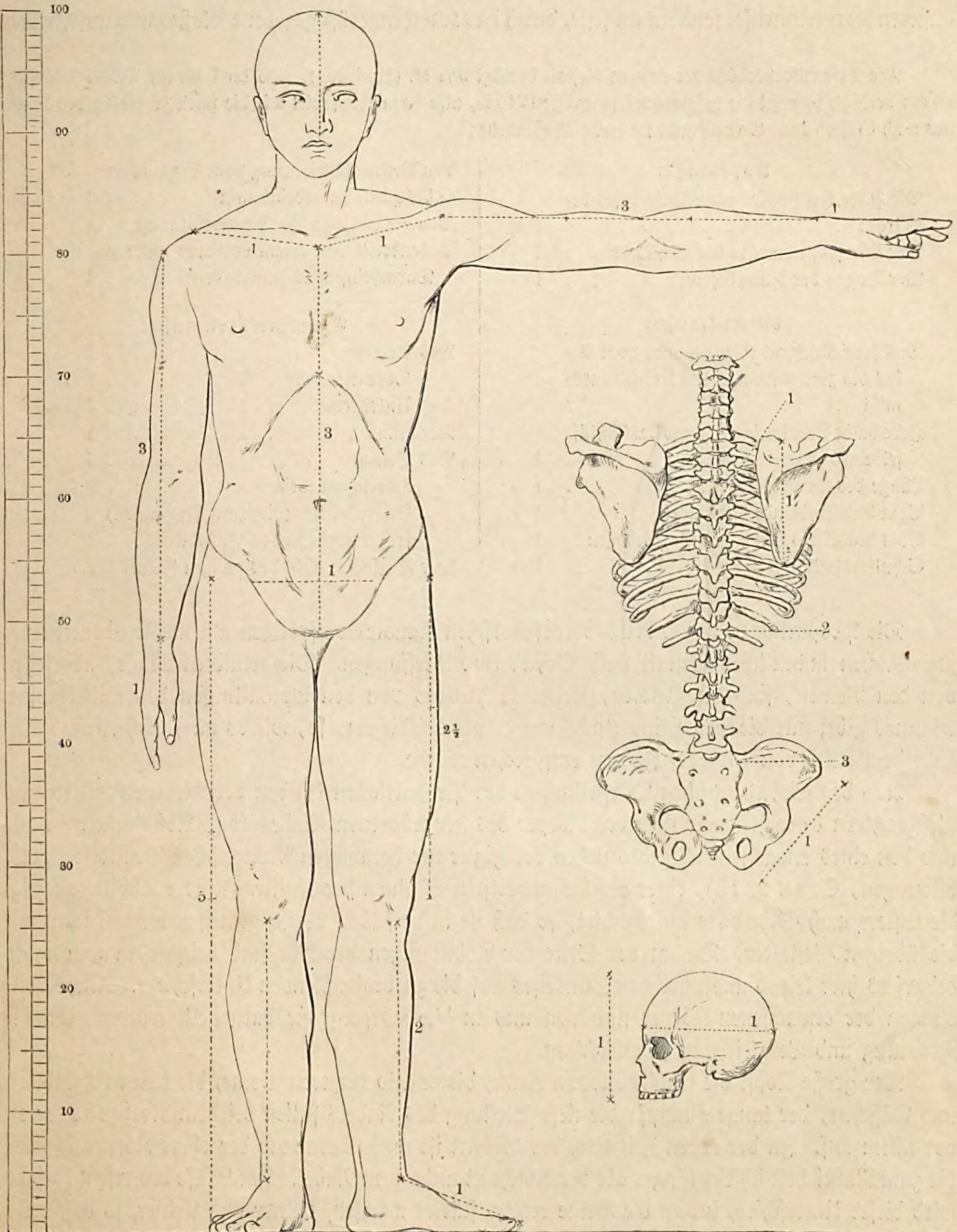
Schadow teilt die gesamte Kopfhöhe in zwei ungleiche Teile, in einen oberen Abschnitt: den Schädel mit der Stirn, und in einen unteren Abschnitt: Gesicht; beide werden durch eine Horizontallinie, welche den oberen Rand der Augenhöhlen durchstreicht, voneinander getrennt. Das Gesicht mißt 5 Zoll, gleich der halben Länge des Fußes, der obere Kopfabschnitt mißt 4 Zoll. Schadow teilt das Gesicht durch Parallellinien zu einer das Gesicht vom Schädel trennenden Hauptlinie, welche man den ersten Teilstrich des Kopfes nennen kann, in sechs gleiche Teile. Der zweite dieser Teilstriche durchstreicht die Augenwinkel, der vierte Teilstrich berührt den unteren Rand der Nasenflügel, der fünfte streicht durch den Mundschlitz, der sechste begrenzt den Kinnrand. Die Nase mißt in der Breite 1½ Zoll, ihre Länge ist gewöhnlich der Stirnhöhe annähernd gleich, in unserem Beispiel aber etwas kürzer, der Mundschlitz 1¾, das Auge 1 Zoll. Von einem äußeren Augenwinkel bis zum anderen beträgt die Entfernung 3½ Zoll, der Zwischenraum zwischen den beiden inneren Augenwinkeln ist der Breite der Nase etwa gleich.

Diese harmonische Übereinstimmung in den mittleren Körpermaßen hat schon das Altertum veranlaßt, die Einzelgrößen nicht in absoluten, sondern in relativen Zahlenangaben zu geben, und zwar benutzte man, wie ja beim Messen ursprünglich überall, bestimmte menschliche Körperteile als Maßeinheiten. Der Fuß als Maßeinheit ist, wie gesagt, die Fußlänge eines sehr großen Mannes, der Zoll ist die Länge des Vordergliedes des Daumens. Die Länge des Vorderarmes vom Ellbogen bis zur Handwurzel (meist doppelt genommen) ist die Elle, die Palme die größte Spannweite der Finger, die Klafter die größte Spannweite oder „Klafterweite" der Arme; die kleinste Maßgröße ist die Breite eines Haares.

Nach den Angaben über die menschlichen Körperproportionen aus dem klassischen Altertum, z. B. bei Vitruv, sollte die Kopfhöhe in der ganzen Körperhöhe achtmal enthalten sein, die Fußlänge sechsmal; Schadow nimmt, wie wir sahen, den Kopf etwas höher, den Fuß etwas kürzer an. Bei heroischen Gestalten ist nach Vitruv die Gesichtslänge (vom Kinne bis zur Grenze des Haarwuchses genommen) zehnmal in der gesamten Körperhöhe enthalten. In Wirklichkeit findet Schadow die gesamte Körperhöhe bei den meisten antiken Statuen wie bei seinem Manne mittlerer Größe zu ca. 7½ Kopfhöhen.

In geistvoller und neuer Weise hat C. G. Carus zuerst in seinem Werke „Symbolik der menschlichen Gestalt" die Proportionen des Menschenkörpers auf die Länge des aus wahren (unverwachsenen) Wirbeln zusammengesetzten Teiles der Wirbelsäule bezogen. Die Wirbelsäule in dieser Abgrenzung ist ihm das Urgebilde der gesamten Gliederung des Leibes. Ihre Länge teilt er in drei gleiche Teile, einen jeden solchen Teil erklärt er für „ein wirkliches, natürliches Urmaß", für die organische Maßeinheit des menschlichen Körpers. Die gesamte Rückgratlänge eines gesunden Neugeborenen entspricht dieser Maßeinheit, die er als „ein Modulus = 1 M." bezeichnet. Auf diese nach Carus' Ansicht im Körper selbst gegebene Maßeinheit, gleich 1 M., baut er den Körper auf.

Der berühmte Bildhauer Rietschel hat eine Figur danach hergestellt, die durchaus richtige und schöne Formen zeigt und seiner Zeit vielfach in den Bildhauer- und Malerateliers als Modellstatue, als neuer Kanon, benutzt wurde. Während die oben nach Schadow gegebenen



Kanon der menschlichen Gestalt (nach Carus-Rietschel).
Die Zahlen an der Figur und den Skeletteilen beziehen sich auf die von Carus aufgestellte Maßeinheit = 1 Modulus.

Maßverhältnisse sich auf einen Mann mittlerer Größe beziehen, ist die Rietschelsche Statuette geschlechtslos gearbeitet, und ihre Maße stehen nach Carus mitten zwischen denen des männlichen und weiblichen Körpers und entsprechen in hohem Maße den Formen der edelsten und schönsten Gestalten der Antike.

Dieses Körperideal hat für uns um so größere Bedeutung, weil sich seine Maße nicht an die äußeren Körperumrisse, sondern an feste, durch das Knochengerüst gegebene Maßpunkte anschließen.

Die Gesamtkörperhöhe der ganzen Gestalt beträgt 9½ M. (Modulus), und da 1 M. im Mittel ungefähr 18 cm beträgt, so mißt die gesamte Körpergröße 171 cm, also etwa ebensoviel wie die mittlere Größe des Mannes nach Schadow. Carus gibt folgende Maßtabelle:

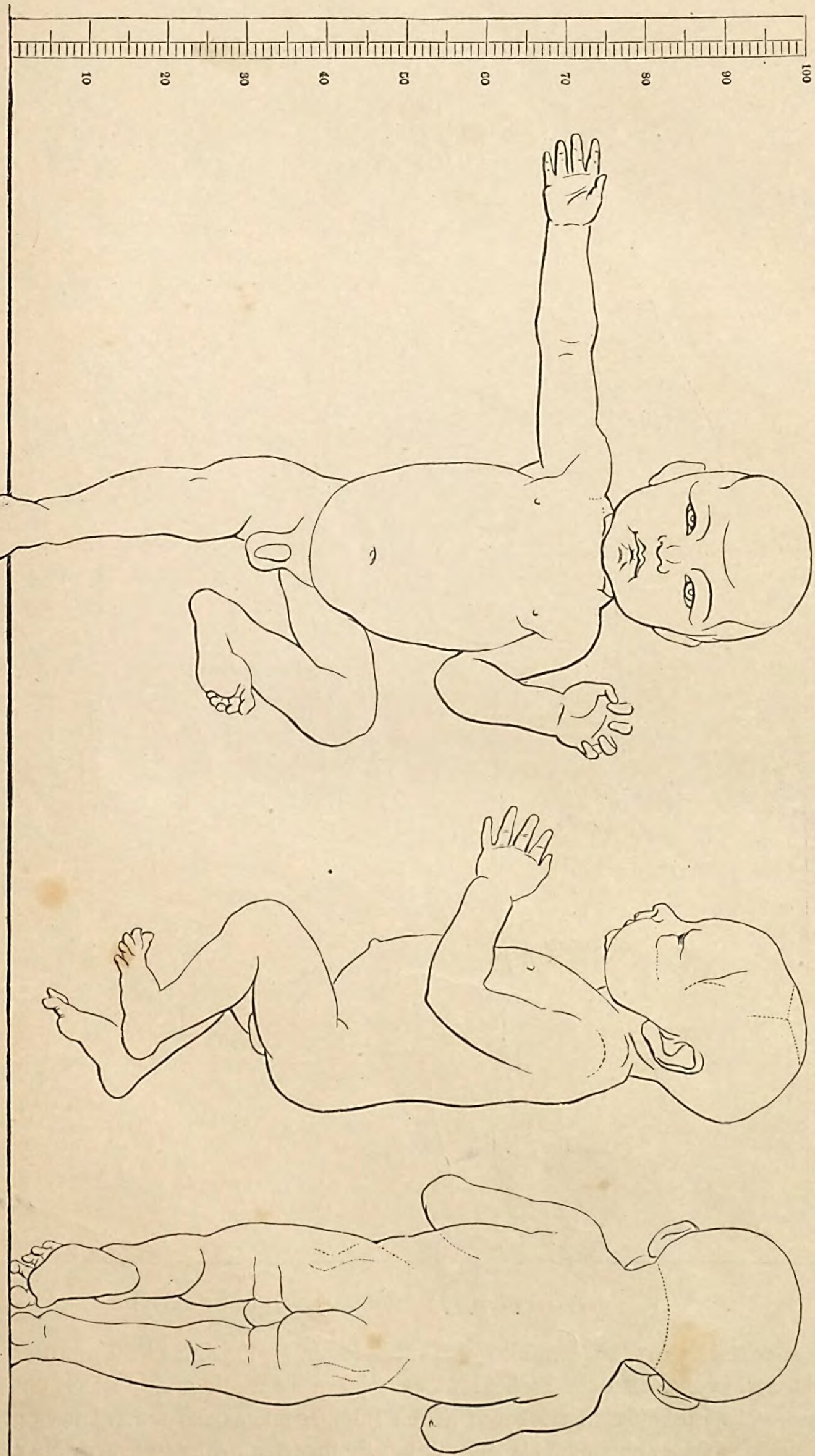
Kopfmaße:		Am Becken: Entfernung vom Sitzknochen bis zum Darmbeinkamm	1 M.
Die Höhe des Kopfes ohne Unterkiefer beträgt	1 M.	Von Schamfuge bis Darmbeinkamm	1 -
Der Längsdurchmesser des Schädels	1 -	Beckenbreite von einem vorderen unteren Darmbeinstachel zum anderen	1 -
Der Bogen der Unterkieferäste	1 -		
Rumpfmaße:		**Extremitätenmaße:**	
Das freie Rückgrat (der Stamm, vom Atlas bis zum Anfange des Kreuzbeines) mißt	3 -	Des Armes	3 -
		" Oberarmes	1⅔ -
		" Unterarmes	1⅓ -
Jede halbe Schulterbreite längs des Schlüsselbeines	1 -	Der Hand	1 -
		Des Beines	5 -
Länge des Brustbeines	1 -	" Oberschenkelbeines	2,5 -
Vom Brustbeinende bis Nabel	1 -	" Schienbeines (bis zum Fußrücken)	2 -
Vom Nabel bis unter den Schambogen	1 -	" freien vorstehenden Fußrückens	1 -
Schulterblattlänge	1 -	Der Fußsohle, d. h. des ganzen Fußes	1,5 -

Die Proportionen des Carus-Rietschelschen Kanons entsprechen am meisten denen einer jugendlichen männlichen Gestalt nach Schadows Messungen. Die relativen Maße, abgesehen von den Beinen, sind die gleichen, welche Schadow von den Verhältnissen des mittelgroßen Mannes gibt; nur die Beine sind etwas länger als bei diesem, so, wie es nach Schadows Angabe dem Alter von 17—18 Jahren entsprechen würde.

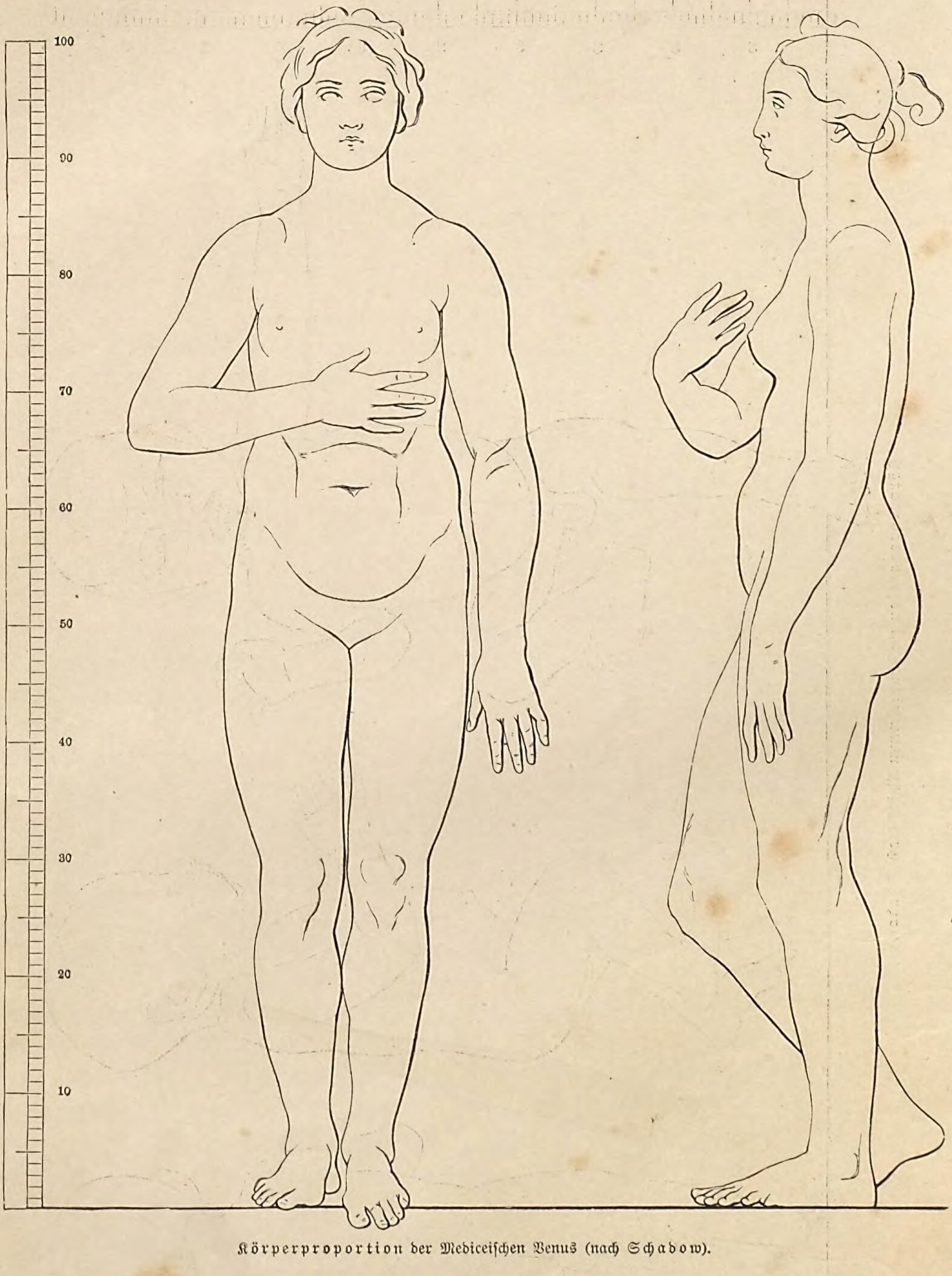
Aus den Schadowschen Darstellungen der Proportionen bei den verschiedenen Altern und Geschlechtern betrachten wir noch den Körper des neugeborenen Kindes (vgl. Abbildung, S. 11) und den eines erwachsenen Weibes neben der Figur der berühmten Mediceischen Venus (vgl. Abbildungen, S. 12 u. 13), einer der bewundertsten Statuen der Antike. Unsere Abbildung zeigt die letztere nach Schadow aufgerichtet, so daß sie in derselben Weise gemessen werden kann wie die übrigen Gestalten. Da an der Seite der Abbildungen der Maßstab beigegeben wurde, so bedarf es hier keines ausführlichen Hinweises auf die zu beobachtenden Unterschiede. Alle Abbildungen der erwachsenen Körper sind von uns in $^1/_{10}$ Körpergröße dargestellt worden, um die Rechnung und Vergleichung zu erleichtern.

Der große Kopf, die wohlgebildeten Arme, die relativ kürzeren Beine, die kleinen Händchen und Füßchen, der lange Rumpf, die tiefe Stellung des Nabels fallen bei dem Neugeborenen vor allem auf. In der ersten Zeit nach der Geburt ist nach Schadow der obere Körperabschnitt bis zum Nabel beträchtlich länger als der Abschnitt unter dem Nabel. Im Laufe des ersten Jahres wird dieser Unterschied, indem die Beine relativ stärker wachsen, kleiner und kleiner, so daß beide Körperabschnitte schon bei Kindern von einem Jahre etwa gleich sind; vom zweiten Lebensjahre an überwiegt dagegen der untere Körperabschnitt in immer stärkerem Grade, so daß schließlich bei den Erwachsenen beiderlei Geschlechts die unter dem Nabel liegende Körperpartie um zwei Handlängen (= 2 Modulus, ca. 36 cm) länger ist als die obere. Die landläufige Meinung, daß der Nabel auch bei dem Erwachsenen die Mitte der ganzen Körperhöhe bezeichne, ist eine irrige.

Die ideale weibliche Gestalt der Antike besitzt einen kleineren Kopf als die männliche Figur auf S. 7; die untere Partie des Leibes vom Nabel an ist länger als bei dem Manne, die

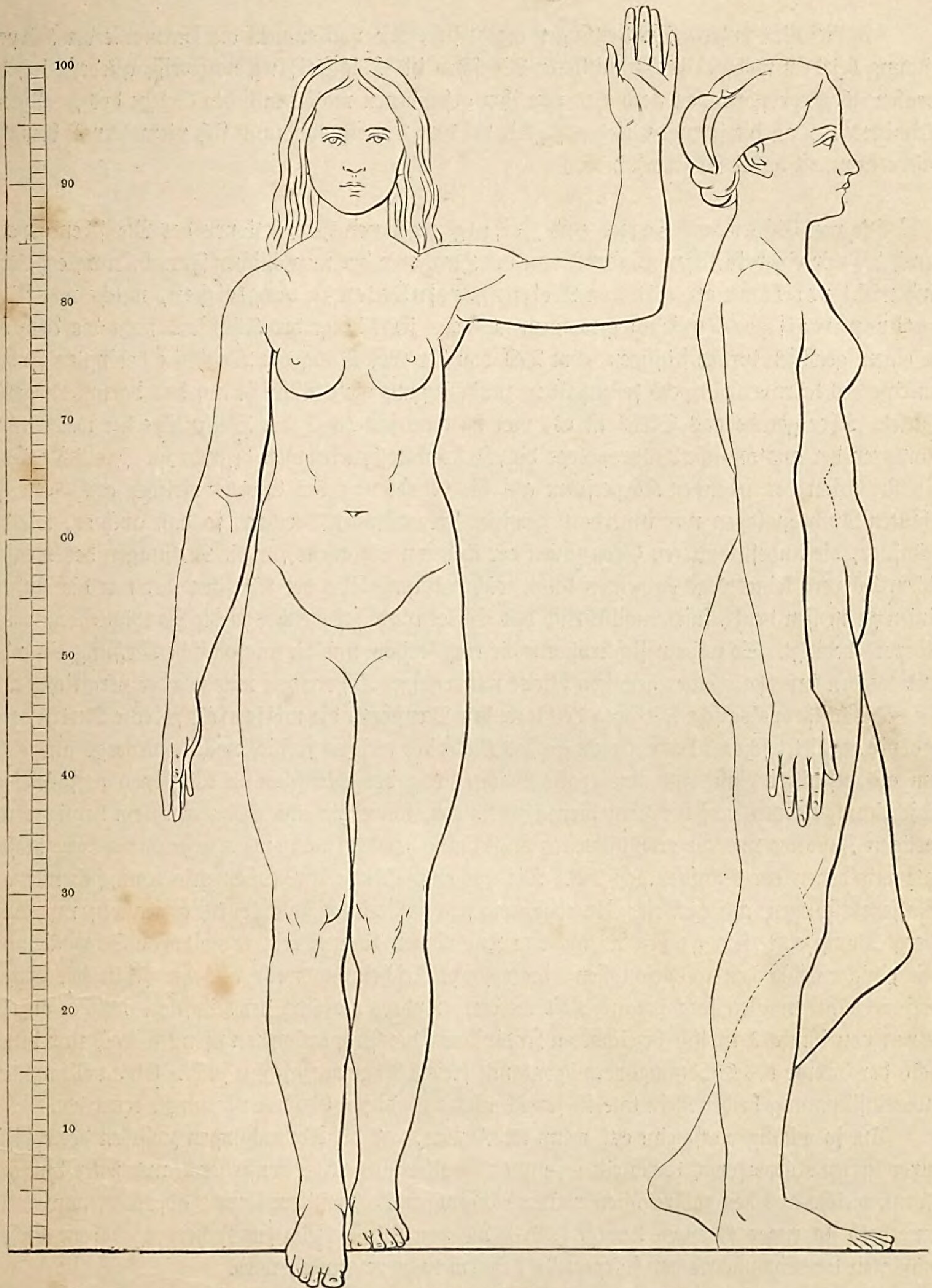


Körperproportion eines neugeborenen Kindes (nach Schadow).



Körperproportion der Mediceischen Venus (nach Schadow).

Hüften relativ breiter, dagegen die Beine etwas kürzer. Dabei sind alle Formen bei dem Weibe gerundeter, weicher. An der Statue der Venus fallen die relativ großen Hände und Füße in die Augen. Erst seit Michelangelo haben sich die Künstler und danach unsere Augen gewöhnt, namentlich die Hände, aber auch die Füße in den Kunstwerken kleiner zu halten, als es der Naturwahrheit entspricht.



Körperproportion eines mittelgroßen Weibes (nach Schadow).

An der oben (nach Schadow) wiedergegebenen Abbildung einer nach der Natur aufgenommenen anmutigen, schlanken weiblichen Gestalt ist der Kopf relativ nicht kleiner als an dem mittelgroßen Manne. Sonst stimmen, namentlich bezüglich der relativen Längen von Arm und Bein sowie bezüglich des unter dem Nabel gelegenen Teils des Leibes, die Verhältnisse mit denen der Venus sehr wohl überein.

Als Resultat unserer Darstellungen ergibt sich, wie vollkommen die Harmonie der Körperbildung bei dem wohlgebildeten mittleren Menschen ist. Wie Zeising nachweist, gliedern sich die idealen Körperproportionen nach dem von ihm gefundenen mathematischen Gesetze des „goldenen Schnittes". Daß die strenge Gesetzmäßigkeit bei dem Einzelindividuum sich niemals voll bewahrheiten kann, ist dabei selbstverständlich.

Die von Schadow, Carus und Zeising gegebenen Proportionen des Menschenkörpers, durch die wir einen so tiefen Eindruck von der Harmonie der menschlichen Formbildung erhalten, sind nicht vollkommen mit den Messungsresultaten zu vergleichen, welche von seiten anthropologischer Forscher gewonnen wurden. Das Auge des Künstlers sucht die doch bis zu einem gewissen Grade flüssigen, zum Teil von der Gestaltung der Weichteile bedingten Formumrisse des lebenden Körpers festzuhalten, zunächst ganz ohne Rücksicht auf das darunterliegende Skelet. Aber gerade das Skelet ist es, von welchem innerhalb der Wellenzüge der wechselnden Konturen der anatomische Anthropologe die „Festpunkte" zu nehmen bestrebt ist. Freilich gelingt die Reduktion der lebenden Körperform auf die Gliederung des Skelets vielfach auch dem geschulten Anthropologen nur innerhalb gewisser schwankender Grenzen, so daß auch er, wie der Künstler, die unbestimmteren Grenzlinien der äußeren Weichteile für die Messungen des menschlichen Körpers keineswegs entbehren kann, während umgekehrt der Künstler, der nur die Außenlinien zu messen denkt, fast unwillkürlich das Skelet mitmißt, welches ja die Hauptgliederung des Körpers bedingt. So nähern sich trotzdem die künstlerische und die anatomische Messung einander und werden innerhalb einer gewissen Breite notwendiger Differenzen miteinander vergleichbar.

Die anthropologische Messung des lebenden Menschen, die wissenschaftliche Anthropometrie, gebietet schon über ein recht großes Material, welches freilich noch keineswegs ausreicht, um als definitive Basis für eine exakte Beschreibung des Menschen in all seinen verschiedenen Erscheinungsformen auf der Erde dienen zu können, immerhin aber schon in ihrem heutigen unfertigen Zustande uns die erwünschtesten Aufschlüsse gewährt und eine Vergleichung ihrer Resultate mit denen der Künstler gestattet. Die wissenschaftliche Anthropometrie kann sich nur auf Massenmessungen, auf exaktester Untersuchung sehr zahlreicher Individuen, aufbauen; nur durch Vergleichung einer sehr großen Anzahl von Individuen können rein individuelle Schwankungen mit einiger Sicherheit ausgeschlossen, die typische Erscheinungsweise aus der Fülle der Einzelverschiedenheiten gleichsam herausgelöst werden. Anders verfährt der Künstler, welcher an einzelnen von ihm als typisch bezeichneten Individuen die Proportionen wesentlich doch nur innerhalb der Grenze des Schätzungsvermögens mit freiem Auge aufzufassen sucht. Eine vollkommene Übereinstimmung beider Resultate ist sonach auch aus diesen Gründen kaum zu erwarten.

Um so wichtiger erscheint es, wenn wir finden, daß die Abweichungen zwischen der typisch-europäischen Körperform, durch ein geschultes künstlerisches Auge konstruiert, und jener typischen Form, welche aus den zahlreichsten exakten Messungen als „mittlere Form" abgeleitet wurde, sich innerhalb so enger Grenzen bewegen, daß die von Künstlerseite zuerst hervorgehobene Gesetzmäßigkeit der Symmetrie der Körperteile dadurch nicht verdunkelt wird.

Reduzieren wir die Verhältniszahlen Schadows auf Prozente und runden die Zahlen in der Weise ab, daß wir drei Viertel einer Einheit für 1 rechnen, während, der mehr schätzenden Methode entsprechend, andere Bruchteile unberücksichtigt bleiben, so erhalten wir für die Hauptdimensionen des mittelgroßen Körpers eines europäischen Mannes die folgende Reihe, neben welche wir die in der gleichen Weise abgerundeten, möglichst entsprechenden Mittelwerte aus einer Reihe setzen, die B. A. Gould in seinen Forschungen zur militärischen und anthropologischen Statistik während des amerikanischen Sezessionskrieges über die Proportionen von 10,876

„weißen Soldaten" gibt. Anstatt „Zoll" wählen wir den bezeichnendern Ausdruck: Einheit. Eine Kopfhöhe bildet eine größere Einheit = 3 × 3 (kleineren) Einheiten.

		Schadow	Gould	Carus
Senkrechte Kopfhöhe = 3 × 3	= 9 Einheiten	= 13 Prozent	— Prozent	— Prozent
Körpergröße 7½ Kopfhöhen . . .	= 67,5 „	= 100 „	100 „	100 „
Scheitel zum Rumpfende	= 37,5 „	= 55 „	54 „	54 „
Rumpflänge	= 25 „	= 37 „	39 „	39 „
Schulterbreite	= 18 „	= 26 „	24 „	24 „
Entfernung der Brustwarzen . .	= 9 „	= 13 „	12 „	13 „
Hängender Arm mit Hand . . .	= 30 „	= 44 „	43 „	43 „
Oberarm	= 14 „	= 20 „	20 „	20 „
Vorderarm mit Hand	= 16 „	= 23 „	23 „	23 „
Freies Bein	= 30 „	= 44 „	46 „	46 „
Unterschenkel zur Kniescheibe . . .	= 18 „	= 26 „	28 „	27 „
Knie zum Rumpfende (Oberschenkel)	= 12 „	= 18 „	18 „	19 „
Hand	= 7 „	= 10 „	— „	10 „
Fuß	= 10 „	= 15 „	15 „	15 „

Die Übereinstimmung der Reihen, an welche wir auch die Maße nach Carus angeschlossen haben, muß in Erstaunen setzen, um so mehr, wenn man bedenkt, daß das schärfste Augenmaß Unterschiede von einem bis zwei Hundertstel der Gesamtkörpergröße kaum mehr aufzufassen vermag. Dabei ist zu beachten, daß die Meßpunkte keineswegs für beide Reihen vollkommen zusammenfallen. So wird z. B. der Arm bei Schadow etwas länger, weil er den Schulterwulst mitmißt; die Dicke der Schultermuskeln summiert sich ebenso bei Schadow zur Schulterbreite. Das Bein erscheint bei Schadow im ganzen etwas kürzer, da das wahre Rumpfende von der Sitzmuskelwölbung, bis zu welcher gemessen ist, überlagert und verdeckt wird; auch für die Kniescheibe liegt Schadows Meßpunkt tiefer (am unteren Rande, statt in der Mitte).

Gould konstatiert, daß die Übereinstimmung seiner Mittelmaße mit den Verhältniswerten Schadows keine vollkommene ist. Daß die Meßpunkte verschieden sind, haben wir als eine der Ursachen der in die Augen fallenden Differenzen schon hervorgehoben; aber wir dürfen auch nicht vergessen, daß wir durch Mittelwerte noch so großer Reihen von Messungen der Körperverhältnisse lebender Wesen niemals den absolut exakten Ausdruck der gesetzmäßigen Proportion des Einzelwesens erhalten werden. Die Natur arbeitet bei der Formbildung der Organismen und ihrer Organe überhaupt nicht nach dem absolut gleichen Schema. Die Exaktheit der schaffenden Natur zeigt sich nicht darin, daß sie die Formen bei verschiedenen Individuen vollkommen gleich macht, sondern darin, daß sie die Abweichung in den Proportionen, also gleichsam die Konstruktionsfehler, so klein macht, daß sie nicht mehr als Abweichungen erscheinen. Dabei gehen aber die kleinen Abweichungen der einzelnen nach den verschiedensten Richtungen auseinander, Kompensationen werden ebenfalls in sehr individueller Weise gesucht und gefunden, so daß die volle Zusammenstimmung von Mittelwerten verschiedener Messungsreihen keine notwendige, sondern, wenn sie einmal eintritt, nur eine zufällige ist. Gerade die ersten Reihen Goulds geben dafür die besten Beweise, da keine mit der anderen vollkommen stimmt. Auch eine Berechnung der Mittelwerte mit Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf einen einheitlichen Typus kann keinen ganz exakten Ausdruck der typischen Verhältnisse geben, weil die erste Voraussetzung einer solchen Rechnung, nämlich ein vollkommen exakter einheitlicher Typus der Formgestaltung, in einer größeren Bevölkerung gar nicht existiert. Nicht nur besitzen verschiedenes Geschlecht und verschiedenes Alter relativ weit auseinander liegende Proportionstypen, welche bei verschiedenen Individuen in verschiedener, manchmal sogar in gekreuzter Weise

zum Ausdruck kommen; der Typus der Formverhältnisse ändert sich auch, wie wir sehen werden, innerhalb der gleichen Altersklasse und des gleichen Geschlechtes nach Beschäftigung und Lebensweise, d. h. mit der stärkeren oder geringeren physiologischen Inanspruchnahme einzelner Körperabschnitte.

Die Versuche von Schadow und Carus-Rietschel, die Proportionen des Menschenkörpers auf ein einfaches Zahlenverhältnis zurückzuführen, werden daher, wie es Carus direkt ausspricht, nur Verhältnisse liefern können, welche sich dem Einzelfalle gegenüber gleichsam indifferent verhalten und die Wahrheit nur innerhalb der Grenze der nicht mehr auffälligen Abweichungen zum Ausdruck bringen. Der Carus-Rietschelsche Kanon der menschlichen Gestalt gliedert sich übrigens noch weit näher innerhalb der Grenzen des Richtigen, welche die direkten Messungen Goulds erkennen lassen. Gould hat, wie wir das eben für Schadows Kanon gethan, die Carus-Rietschelschen Angaben in Prozente der Gesamtkörperhöhe umgerechnet, um sie mit seinen Mittelwerten zu vergleichen. Ein Blick auf unsere Abbildung des Carusschen Kanons genügt jedoch, um zu zeigen, daß hier eine Vergleichung wegen der ganz verschiedenen Meßpunkte keine Möglichkeit der Übereinstimmung darbietet. Mißt man aber die Carussche Figur mit dem Zirkel nach den gleichen Dimensionen, welche Goulds Messungen zu Grunde liegen, so ist, wie die obige Vergleichstabelle ergibt, die Übereinstimmung der abgerundeten Zahlen eine so gut wie absolute. Im großen und ganzen dürfen wir sonach die Gliederung des mittleren europäischen Menschenkörpers nach festen Zahlenverhältnissen, wie sie von Schadow und namentlich von Carus aufgestellt wurden, als bewiesen betrachten; die normalen individuellen Abweichungen halten sich in den Grenzen des dem freien Auge Unmerklichen.

Zeising hat, wie oben angedeutet, in den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts versucht, diesem festen Zahlenverhältnis der menschlichen Proportionen einen einheitlichen mathematischen Ausdruck zu geben. Er suchte zu beweisen, daß die Proportionen der menschlichen Form abhängen von einer konsequenten Teilung und Wiederteilung der ganzen Statur nach der Regel des „goldenen Schnittes“. Indem er seine Proportionen nur auf den äußeren Umriß der Gestalt des lebenden Menschen anwendet, gestatten nur einzelne seiner Maßangaben eine direkte Vergleichung mit den oben gegebenen anthropometrischen; diese ersteren stimmen aber wirklich mit den letzteren sehr nahezu überein.

Die Hauptverhältnisse: Rumpf mit Kopf und Hals, Länge des Armes mit Hand, Länge des freien Beines, Länge des Fußes, decken sich, nach dem Gesetze des „goldenen Schnittes“ berechnet, so nahe mit den zuverlässigsten Mittelwerten, daß die Abweichungen innerhalb der individuellen Schwankungsgrenzen zu liegen kommen. Es ist ja, wir wiederholen es, von vornherein und von selbst klar, daß ein derartig festes Zahlengesetz für das Individuum, auf dessen spezielle Proportionsbildung so tausendfache individuelle, abändernde Einflüsse stattfinden, nur im großen und ganzen sich bewahrheiten kann.

So schwankten die Mittelwerte für die freie Beinlänge (die Höhe von der Standebene bis zum unteren Rumpfende) bei Goulds vier großen Reihen weißer Rekruten zwischen 46,26 und 47,50 Tausendsteln der Statur; nach der Regel des „goldenen Schnittes“ findet Zeising dieses Verhältnis zu 47,22. Die Länge des ganzen Armes mit der Hand beträgt im Mittel in den gleichen vier Messungsreihen Goulds zwischen 42,61 und 43,41, Zeising findet dafür 43,77. Die Länge des Fußes mißt im Mittel nach Gould zwischen 14,64 und 15,31, nach Zeising 14,58. Die Rumpflänge, vom Scheitel zum Rumpfende, beträgt im Mittel nach Gould zwischen 52,50 und 53,74, Zeising hat dafür 52,78.

Damit, daß wir die Gliederung der menschlichen Gestalt dem Zahlengesetz der Schönheit, dem Verhältnis des „goldenen Schnittes“ für unterworfen betrachten, heben wir keineswegs den Menschen aus der übrigen Schöpfung heraus oder stellen ihn als „schön“ anderen Wesen

und Dingen als „nicht schön“ gegenüber. Das gleiche oder ein ganz analoges Zahlengesetz finden wir bei der Gliederung der Pflanzen wie in dem Schalenbau der niedrigsten animalen Organisation, der Foraminiferen, und ein Pferd und ein Affe werden uns das gleiche Gesetz, obschon in verschiedener Anwendung, wie der Mensch erkennen lassen. Gilt dasselbe doch auch, wie es scheint, sehr allgemein in der leblosen Natur; ja, das klassische Altertum und namentlich Vitruv erkennt kein Gebäude für schön, wenn es nicht „ebenso wie ein wohlproportionierter Mensch eingerichtet“ ist. Peter Camper weist am Ende des vorigen Jahrhunderts in seinem wunderbaren Buche über die Gesichtszüge, in welchem zum erstenmal der berühmte Campersche Gesichtswinkel aufgestellt wird, darauf hin, daß jede Thür die Proportionen des Menschenkörpers in gewissem Sinne wiederhole. „Liest man“, sagt P. Camper, „Le Roys vortreffliche Erklärung des Fortganges in der Baukunst mit Aufmerksamkeit, so wird man finden, daß die Alten die Säulen beständig verlängerten, darauf Fußgestelle unter dieselben schoben und sie endlich durch Kapitäler noch erhöhten, damit die Säulen mit ihren Kapitälern und Fußgestellen dem Körper des Menschen gleichförmig würden.“

*

Goulds Hauptproportionen des Menschenkörpers

nach Messungen in Nordamerika während des Sezessionskrieges. Ganze Körpergröße = 100,00.

Körpermaße	Weiße Soldaten spätere Reihe	Weiße Soldaten frühere Reihe	Seeleute (Matrosen)	Studenten	Vollblut-Neger	Mulatten	Indianer
Anzahl der gemessenen Männer	10876	7904	1061	291	2020	863	517
Länge von Kopf und Nacken	14,81	14,83	15,28	14,82	14,55	14,33	13,99
Länge des Rumpfes	38,93	38,76	37,22	38,34	36,98	37,35	39,38
Knie bis zum Perinäum (Spalt)	18,55	—	19,48	18,59	19,57	19,15	18,79
Kniehöhe	27,71	—	28,02	28,25	28,90	29,17	27,84
Schulterhöhe zum Ellbogen	20,25	—	19,95	20,14	21,01	20,95	20,15
Ellbogen zur Fingerspitze	23,16	—	23,28	22,47	24,15	24,74	25,01
Mittellinie zur Fingerspitze = ½ Klafterweite	52,18	—	51,29	51,29	54,08	54,06	54,49
Schulterhöhe zur Fingerspitze	43,41	43,39	43,23	42,61	45,16	45,69	45,16
Höhe des Perinäums (Spalt)	46,24	46,41	47,50	46,84	48,47	48,32	46,63
Höhe der Pubes	—	—	50,37	—	51,83	52,10	—
Fingerspitze zur Kniescheibe	7,49	—	8,73	9,51	4,37	6,23	5,36
Umfang der Taille	46,85	47,67	46,17	45,89	45,79	46,13	50,68
Umfang der Hüften	55,00	—	52,95	53,71	53,66	53,52	57,12
Umfang der Brust	53,34	52,47	53,24	51,89	53,05	52,76	55,58
Atemspiel der Brust	3,94	—	3,14	4,50	2,52	2,12	2,62
Abstand zwischen den Brustwarzen	12,11	—	12,58	11,85	12,13	11,98	—
Abstand zwischen den Augen	3,71	3,87	3,75	3,65	4,10	4,03	3,98
Breite des Beckens	17,75	19,51	17,61	16,43	16,54	17,02	18,90
Länge des Fußes	14,98	—	15,31	14,64	16,01	15,77	14,84
Dicke, resp. Höhe des Fußes	3,83	—	4,42	4,09	4,04	4,18	3,94

Um schon an dieser Stelle eine exakte Vergleichung der Körperproportionen weißer und farbiger Menschen zu ermöglichen, welche für eine allgemeinere Betrachtung von dem künstlerischen Ideal nur in geringem Grade abzuweichen scheinen, geben wir vorstehend die grundlegende Hauptmessungstabelle Goulds über die Hauptproportionen des Menschenkörpers von in der nordamerikanischen Armee während des Sezessionskrieges dienenden „Weißen“, und zwar weit überwiegend eingeborenen Nordamerikanern, dann aber auch von Negern,

Mulatten und Indianern. Diese Tabelle wird uns für die eingehendere, nicht künstlerische, sondern naturwissenschaftliche Untersuchung der Unterschiede und Ähnlichkeiten der verschiedenen typischen Formen innerhalb des Menschengeschlechts von allergrößter Bedeutung werden. Es wird sich ergeben, daß die an sich relativ gering erscheinenden Differenzen sowohl zwischen den Proportionen der verschiedenen Beschäftigungskreise der „Weißen" als zwischen diesen im ganzen und den „Farbigen" doch eine sehr deutliche und nicht mißzuverstehende Sprache reden. Der Fortschritt der naturwissenschaftlichen Erkenntnis beruht nicht auf einer Methode der Nivellierung der bestehenden Differenzen zwischen den verschiedenen näher oder ferner verwandten Typen, sondern auf einer möglichst scharfen und exakten Hervorhebung der Unterschiede, um womöglich die jene Unterschiede bedingenden Ursachen verstehen zu lernen.

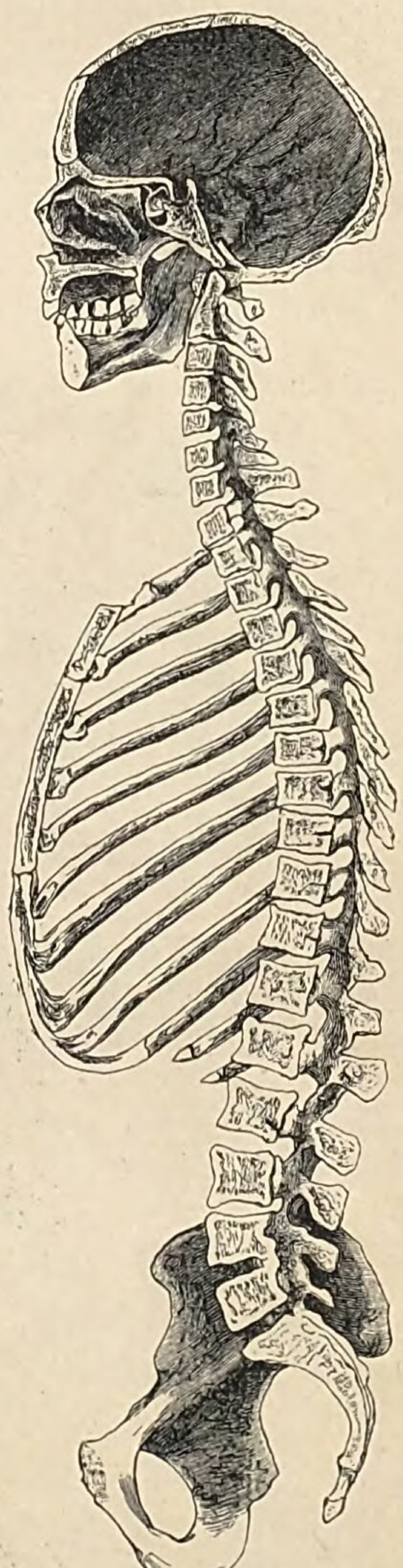
Das Knochengerüst.

Dringen wir etwas tiefer in den wahren Sachverhalt ein, so erkennen wir in dem Knochengerüst, das wir gewöhnt sind als das Bild des Todes und des Schreckens zu betrachten, nicht nur das wichtige Gebilde, welches dem Gesamtkörper und seinen Gliedern Halt, Festigkeit und Beweglichkeit erteilt und die besonders lebenswichtigen inneren Organe in mehr oder weniger geschlossene Schutzhöhlen aufnimmt, sondern wir sehen auch, daß die Harmonie der Gliederung des Menschenleibes bedingt wird durch den Aufbau der Knochen. Betrachten wir die Skizzen der berühmtesten Künstler seit der Periode der Wiedergeburt der Künste und Wissenschaften in Italien, so sehen wir vielfach mit Erstaunen, mit welcher Sorgfalt das Knochengerüst in die menschlichen Gestalten und Glieder, gleichsam als Probe der Richtigkeit ihrer Verhältnisse, eingezeichnet wurde. Und schon Aristoteles, der Großmeister der naturwissenschaftlichen Studien des klassischen Altertums, sagt, die Natur verfahre bei dem Aufbau des Körpers des Menschen und der Tiere wie ein Bildhauer bei dem Aufbau eines Thonmodells für eine Statue. Wie dieser sich zuerst ein Gerüst aus Stäben herstelle, um zunächst die Proportionen des Körpers und seiner Glieder zu fixieren und einen Halt zu gewinnen für die aus Thon zu modellierenden Weichgebilde, so habe die Natur zu dem gleichen Zwecke das Knochengerüst in das Innere des Körpers verlegt.

Indem nun das Skelet auch noch die Beweglichkeit des Gesamtleibes und seiner Gliedmaßen durch die Gelenke zu vermitteln hat, kommt es in ihm zu der großen Anzahl untereinander beweglich oder mehr oder weniger fest verbundener Einzelknochen und zu den mannigfachen Formgestaltungen, welche die einzelnen Knochen aufweisen: lange und kurze, breite, dicke, schmale, dünne und schalenförmige, röhren-, ring- und halbringförmige und andere.

Das Knochengerüst des Menschen besteht aus der Zentralachse, an deren Spitze sich der Kopf befindet, und den an die Zentralachse sich anheftenden Gliedern (s. Abbildung, S. 20). Die Zentralachse ist die doppelt S-förmig gekrümmte Wirbelsäule, welche aus einer beträchtlichen Anzahl senkrecht übereinander sich aufbauender kurzer Knochen, Wirbel, zusammengesetzt erscheint. Von dem vorderen massiven Teile jedes Wirbels, dem Wirbelkörper, gehen rechts und links nach rückwärts kurze knöcherne, zu einem Ringe verschmolzene Bogen aus. Die Gesamtheit aller dieser verschmolzenen Knochenbogen der Wirbel bildet einen langen Kanal, den Wirbelkanal oder die Rückgratshöhle, die mit der Schädel- oder Gehirnhöhle sich verbindet (s. Abbildung, S. 19). Wirbelkanal und Schädelhöhle bergen das einheitliche Zentralorgan des Nervensystems, welches sich in Rückenmark und Gehirn gliedert. Gehirnhöhle und Rückgratshöhle bilden sonach einen zusammenhängenden Hohlraum, und auch die den Schädel

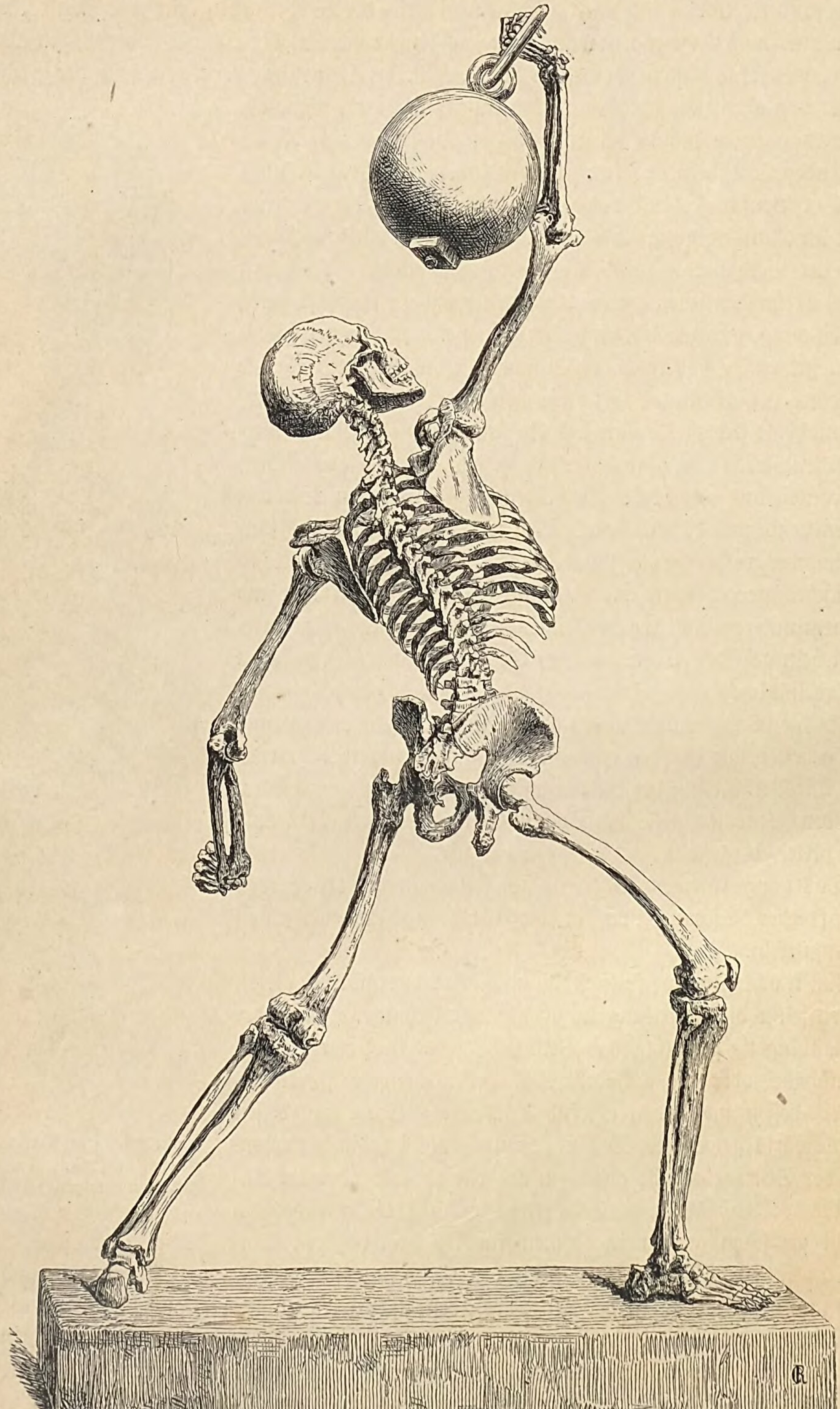
zusammensetzenden Knochen hat man anatomisch als speziell für die Bildung einer weiten Schädelhöhle veränderte Wirbel bezeichnet. Von einem Teile der Wirbel gehen nicht nur nach rückwärts, sondern auch nach vorn gewendet knöcherne, und zwar viel längere Spangen oder Bogen aus, die Rippen, welche, indem sie der Mehrzahl nach in der Mittellinie der Vorderseite der Brust mit dem hier von oben nach abwärts verlaufenden linealartig schmalen, an seinem obersten Rande einen konvexen Ausschnitt, die Kehle, enthaltenden Brustbein verschmelzen, den knöchernen Brustkorb bilden. Der Brustkorb dient vorwiegend zum Schutze der Zentralorgane der Blutbewegung und Atmung, aber auch eines wichtigen Teiles der Verdauungs- und Absonderungsapparate. Auch mit den Schädelknochen sehen wir nach vorn gewandte Knochenspangen in Verbindung, durch welche eine Anzahl von komplizierteren Hohlräumen für einige höhere Sinnesorgane: die Augenhöhlen für die Organe des Gesichtssinnes, die Nasenhöhle für das Geruchsorgan, die Mundhöhle für die Organe des Geschmackssinnes, gebildet werden. Die Wirbelsäule wird eingeteilt in den Halsteil aus sieben, den Brustteil aus zwölf, den Lendenteil aus fünf freien Wirbeln. Auf den Lendenteil des Rückgrats folgt nach abwärts das aus fünf untereinander verwachsenen Wirbeln gebildete Kreuzbein, welches sich zwischen die Hüftbeine auf der Rückseite des Körpers einkeilt und an seinem unteren, spitz zugehenden Ende das aus vier verkümmerten Wirbeln gebildete Schwanz- oder Steißbein trägt, mit welchem die Wirbelsäule endet.


Senkrechter Durchschnitt durch den Rumpf des Menschen. Schädelhöhle und Rückgratshöhle geöffnet.

An die Wirbelsäule sind als vielgliederige Anhänge Arme und Beine geheftet, die Glieder oder die oberen und unteren Extremitäten. Die Verbindung der Glieder mit der Wirbelsäule wird durch die beiden „Knochengürtel der Extremitäten", Schultergürtel und Beckengürtel, hergestellt.

Das ganze Knochengerüst teilt sich sonach in den Kopf, den Rumpf oder Stamm und in die Gliedmaßen mit ihren Knochengürteln.

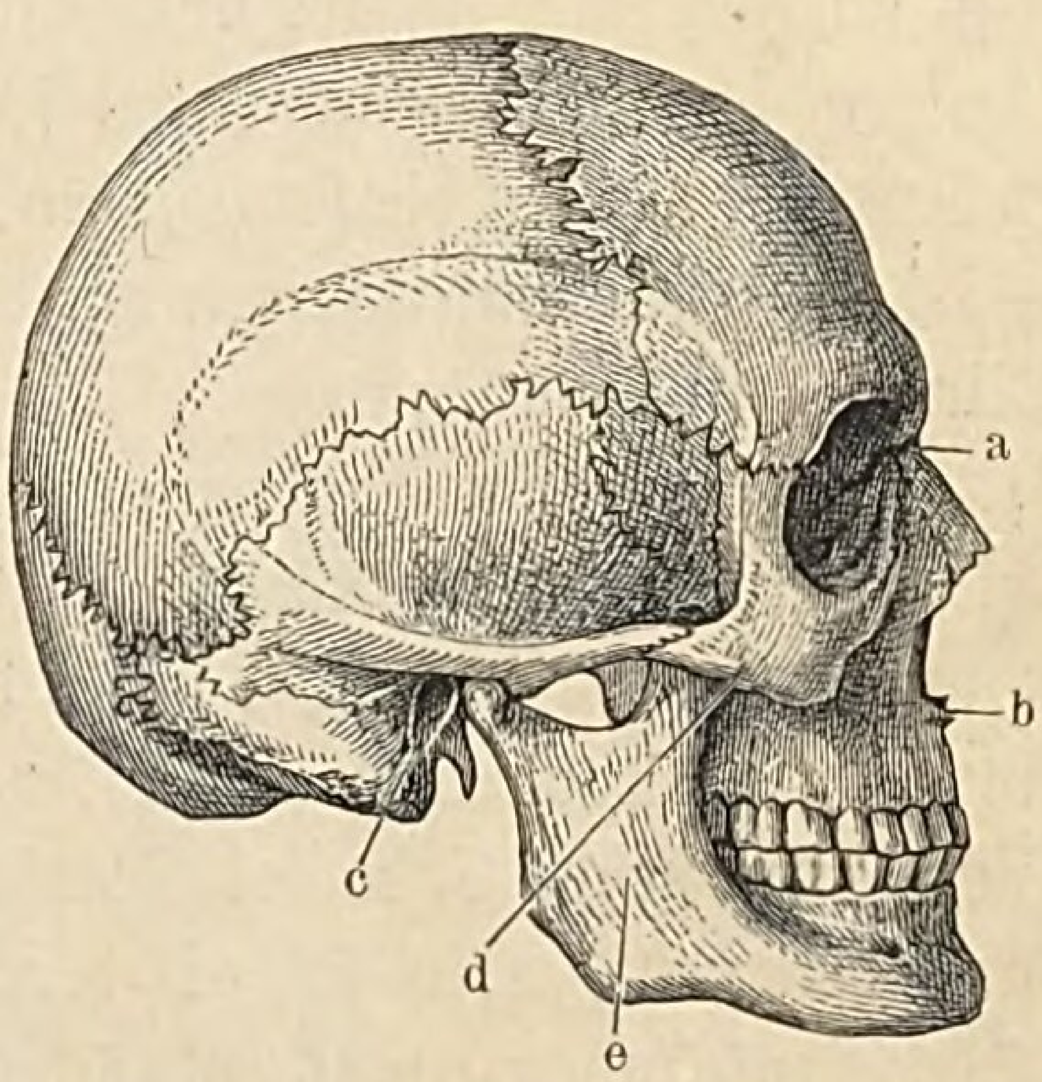
Am knöchernen Kopfe (s. Abbildung, S. 21) ergibt sich gleichsam von selbst die Einteilung in zwei Hauptabschnitte. Zuerst der obere halbkugelig gewölbte, das Gehirn bergende Gehirnteil, der Gehirnschädel oder die Schädelkapsel, dessen höchster Punkt als Scheitel, dessen nach vorn gewendeter Teil als Stirn und dessen nach rückwärts gewendeter Teil als Hinterhaupt bezeichnet werden. Unter der Stirn zeigt sich, gleichsam als ein unterer vorderer Anhang des Gehirnschädels, der knöcherne Gesichtsteil, an welchem zunächst die schon genannten Höhlen für die drei höheren Sinne, Augen-, Nasen-, Mundhöhle, auffallen. Die Höhlungen für den Gehörsinn finden sich am Gehirnschädel, und zwar seitlich und unten, etwa in der Mitte desselben; hier wird auf jeder Kopfseite die ziemlich enge Ohröffnung, der Eingang in den knöchernen Gehörgang, sichtbar. Die knöcherne Nasenhöhle öffnet sich nach vorn in der weiten, „birnförmigen" Nasenöffnung, sie wird durch die Nasenknochen wie von einem kleinen Vordach gedeckt und durch eine knöcherne Scheidewand senkrecht in zwei Hälften geteilt. Der Ansatz der Nasenknochen an der Stirn heißt Nasenwurzel. In



Das Knochengerüst des Menschen (nach Chr. Roth). Vgl. Text, S. 18.

der Mitte des Unterrandes der birnförmigen Öffnung der knöchernen Nase erhebt sich der Nasenstachel. Seitlich unter den Augenhöhlen sehen wir das Wangenbein im Verein mit den Nachbarknochen den knöchernen Jochbogen wie eine Brücke vom Gesicht zum Gehirnschädel und zu der Ohröffnung hinüberspannen. Indem sich die Unterkinnlade, der Unterkiefer, beweglich mit dem oberen Teile des knöchernen Gesichts verbindet, der seinerseits unbeweglich mit dem Gehirnteil des knöchernen Kopfes verschmolzen ist, gliedert sich das Gesicht in zwei Abschnitte, in den größeren oberen oder Oberkieferteil und in den kleineren Unterkieferteil oder Unterkiefer, der einen nach hinten offenen Knochenbogen bildet. Wo sich in der Mundspalte Oberkiefer und Unterkiefer berühren, sehen wir die beiden gegeneinander gewendeten Zahnreihen. Der Unterkiefer sendet rechts und links an seinem hinteren Ende, dem Unterkieferwinkel, je einen winkelig von ihm abgebogenen Ausläufer, den Unterkieferast, zur Gelenkverbindung mit der Schädelkapsel in die Höhe. Nach oben gabelt jeder Unterkieferast in den vorderen plattspitzigen Kronenfortsatz und in den hinteren, an der Bildung des Kiefergelenks beteiligten Gelenkfortsatz.

Das knöcherne Schultergerüst, der **Schultergürtel**, ist nicht geschlossen, er bildet einen nach hinten offenen Knochenring. Die an der Bildung des Schultergürtels beteiligten Knochen, das rippenähnliche Schlüsselbein und das flache, annähernd dreieckige Schulterblatt, sind unter sich beweglich und auch durch die Verbindung des Schlüsselbeins mit dem Brustbein beweglich mit dem Brustkorb vereinigt. An jedem Schulterblatt befindet sich vorn eine Gelenkvertiefung zur Verbindung mit dem Oberarmknochen im Schultergelenk. Das Schultergelenk wird nach oben durch vorspringende Knochenteile, welche die **Schulterhöhe** bilden, gedeckt, und zwar von dem verbreiterten äußeren Ende des Schlüsselbeins und einem ebenfalls breiten Knochenvorsprung, der Schulterhöhe (Akromion), die das Schulterblatt mit dem Schlüsselbein in geringerem Grade beweglich verbindet.



Der **Schädel**, Seitenansicht. Vgl. Text, S. 19
a) Nasenbein, b) Nasenstachel, c) Ohröffnung, d) Wangenbein, e) Unterkiefer.

Der Knochengürtel, welcher die Vereinigung der Beine mit dem Stamme des Körpers bewirkt, der **Beckengürtel**, das Becken, stellt einen vollkommen geschlossenen Knochenring dar, indem sich zwischen die beiden Hinterränder der zwei die Seitenteile des Beckens bildenden, vorn miteinander verbundenen schaufelförmigen Hüftbeine das untere Wirbelsäulenende, das Kreuzbein, fest einkeilt. Die Schaufelflächen der Hüftbeine sind nach oben gewendet, ihr oberer Rand wird als Hüftbeinkamm (Darmbeinkamm) unterschieden. Die Vereinigung der beiden Hüftbeine in der vorderen Mittellinie des Körpers wird als Schambeinfuge bezeichnet. An der Außenfläche jedes Hüftbeins, etwa in der Mitte, befindet sich eine tiefe Gelenkgrube, die Pfanne, zur Verbindung mit dem Oberschenkelbein in dem Hüftgelenk. Das Becken stellt als Ganzes, abgesehen von seiner Funktion zur Befestigung der Beine am Rumpfe, einen ziemlich weiten, durch knöcherne Wände gebildeten Hohlraum dar, der zum wirksamen Schutze eines Teiles der Ausscheidungs- und Reproduktionsorgane dient.

Die **Glieder**, Arme und Beine oder obere und untere Extremitäten, zeigen eine bemerkenswerte Übereinstimmung in ihrem Knochenbau. Beide setzen sich der Hauptsache nach aus langen, röhrenförmigen Knochen zusammen, deren Anzahl sich in einer Art von strahliger Bildung gegen das Ende der Extremität hin von 1—5 vermehrt.

Unter der Schulter gliedert sich der Arm in Oberarm, Unterarm und Hand; an der Hand unterscheiden wir Handwurzel, Mittelhand und Finger.

Der Oberarm besteht aus einem einzigen langen Röhrenknochen, welcher nach oben, zur Verbindung im Schultergelenk, zu einem kugeligen Gelenkkopf, nach unten zu einer beiderseits seitlich sich verbreiternden, rechts und links als Oberarmknorren vorspringenden rollenartigen Bildung anschwillt, welche die bewegliche Gelenkverbindung mit dem Unterarm vermittelt.

Der Unterarm wird aus zwei langen Röhrenknochen, der Elle und der Speiche, zusammengesetzt. Die Elle liegt an der Kleinfingerseite, die Speiche an der Daumenseite des Armes. Die erstere greift mit einem Haken, dem Ellbogenhaken, dessen äußere Seite durch den Ellbogenhöcker (Olekranon) markiert wird, zur Bildung des Ellbogengelenkes über das rollenförmige Ende des Oberarmbeins. Die unteren verdickten Enden der beiden Unterarmknochen sind an der Handwurzel beiderseits als Hand- oder Unterarmknöchel durch die Haut zu fühlen.

Die Handwurzel, welche als Ganzes mit den Unterarmknochen beweglich verbunden ist, setzt sich aus einer Anzahl unregelmäßig gestalteter kleiner Knochen zusammen. Nach unten befestigen sich an die Handwurzel fünf kleine Röhrenknochen als knöcherne Grundlage des Handtellers, an welchen die beweglichen, noch kleineren Röhrenknochen der Fingerglieder ansitzen.

Am Beine unterscheiden wir denen des Armes ganz entsprechende Abteilungen: Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß.

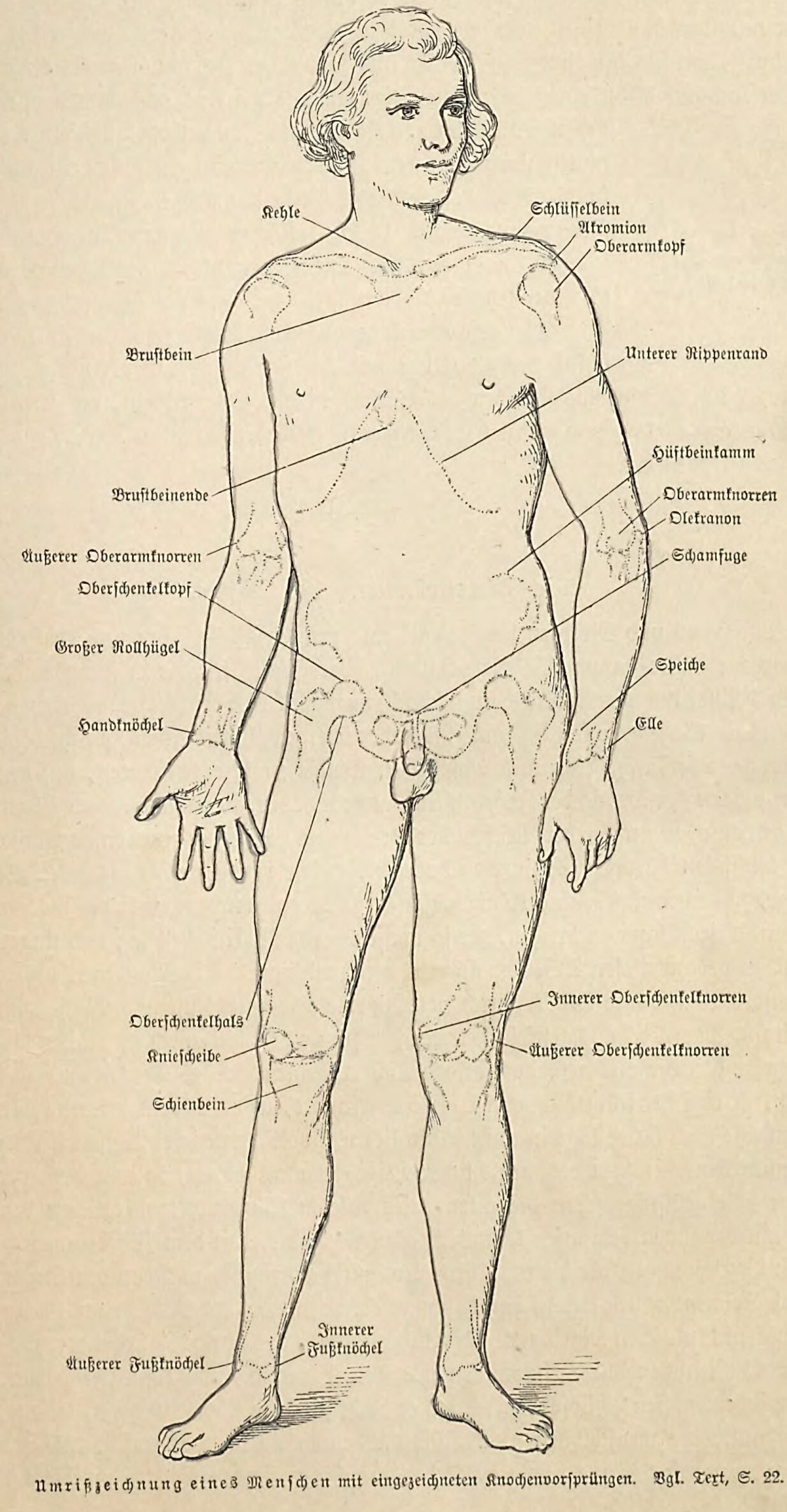
An dem langen, röhrenförmigen Oberschenkelknochen haben wir wieder oben den jedoch in einem Winkel zur Längsachse des ganzen Knochens abgebogenen kugeligen Gelenkkopf des Hüftgelenks. Nach außen, neben dem Gelenkkopf, ragt ein derber Knochenvorsprung, der große Rollhügel (Trochanter major), vor, der leicht durch die Haut durchzufühlen ist. Das untere, sich verbreiternde Ende des Oberschenkelbeins, welches mit den Unterschenkelknochen das Kniegelenk herstellt, wölbt sich auf der Außen- und Innenseite zu den durch die Haut vorspringenden Oberschenkelknorren, welche als äußerer und innerer Knorren unterschieden werden. Die Vorderfläche des Kniegelenks wird durch einen kurzen, herzförmig gestalteten Knochen, die Kniescheibe, gedeckt.

Die knöcherne Stütze des Unterschenkels sind das mächtige Schienbein und das viel schwächere, auf der äußeren, der Kleinzehenseite des Beines liegende Wadenbein. Von diesen zwei Knochen endigt jeder nach unten in einer Anschwellung, durch welche die Unterschenkel- oder Fußknöchel, jene starken, nur von Haut bedeckten rundlichen Knochenvorsprünge an der äußeren und inneren Seite des Fußgelenks, gebildet werden.

Der knöcherne Fuß besteht, entsprechend den drei Abteilungen der Hand, aus Fußwurzel, Mittelfuß und Zehen. Die Fußwurzel wird wieder aus einer Anzahl unregelmäßig gestalteter Knochen gebildet, von denen wir hier das Sprungbein, welches sich von den Fußwurzelknochen allein an der Bildung des Fußgelenkes beteiligt, und das unter ihm liegende, nach hinten vorspringende Fersenbein erwähnen. Eine noch größere Ähnlichkeit mit den entsprechenden Teilen der Hand, wenn auch nicht in ihrer gegenseitigen Stellung, doch sowohl in Form als Zahl und Anordnung der Knochen, zeigen die beiden übrigen Fußabteilungen, zunächst die fünf Mittelfußknochen, an welchen dann die kurzen Zehenknochen beweglich angeheftet sind. Auf die Unterschiede im Bau von Hand und Fuß kommen wir später.

In die Umrißzeichnung eines Menschen auf S. 23 sind jene im vorstehenden erwähnten Knochenvorsprünge eingezeichnet, die man durch die Weichteile hindurch am Lebenden leicht fühlen kann, und welche daher für die Zwecke der Körpermessungen besondere Dienste leisten.

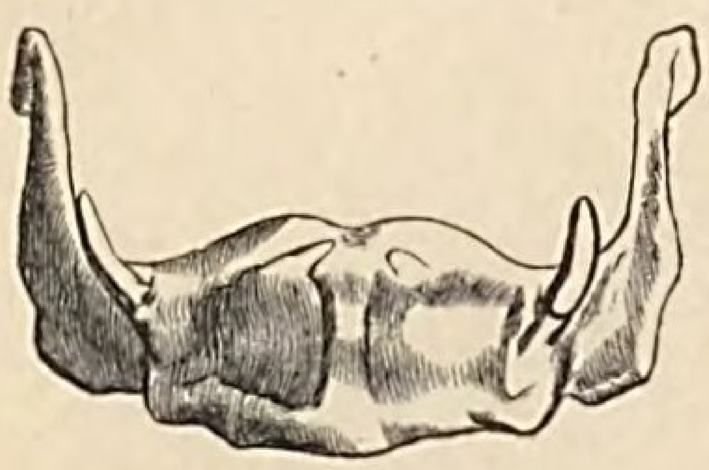
Während die bisher aufgezählten Teile des menschlichen Knochengerüstes untereinander zu einem zwar vielfach gegliederten, trotzdem aber ein einheitliches Ganzes darstellenden Bau vereinigt sind, findet sich noch eine Anzahl meist kleiner Knöchelchen, die, als Sehnenknochen beschrieben, von dem Skelet gleichsam losgelöst in den Sehnen der Muskeln liegen. Die Kniescheibe, welche auf den ersten Blick als ein solcher relativ kolossal großer Sehnenknochen imponiert,



Umrißzeichnung eines Menschen mit eingezeichneten Knochenvorsprüngen. Vgl. Text, S. 22.

da sie in der gemeinsamen Streckfehne des Unterschenkels eingebettet liegt, schließt sich entwickelungsgeschichtlich an das Schienbein an und entspricht dem Ellbogenhaken der Elle des Vorderarms.

Eine besondere Rolle spielt noch das mit dem Gesamtskelet ebenfalls nicht fester verbundene Zungenbein, welches der Zunge zur Stütze und zahlreichen Halsmuskeln als Anheftungsstelle dient. Der Knochen bildet einen dem Unterkiefer etwas ähnlichen, nach hinten offenen Bogen, dessen Mittelstück als Körper des Zungenbeins bezeichnet wird. Nach hinten steigt von dem Körper jederseits ein aufwärts gewendeter Ast in die Höhe, es sind das die beiden großen Zungenbeinhörner. Am Vereinigungswinkel zwischen Körper und großem Horn erhebt sich jederseits noch ein mit einem Weizenkorn verglichenes kleines Horn (s. nebenstehende Abbildung).


Das Zungenbein.

Die Gesamtzahl der Knochen des Erwachsenen beträgt, mit Einschluß der 32 Zähne und der 6 niedlichen Gehörknöchelchen im mittleren Ohre, 240. Der größte Knochen des Skelets ist das Schenkelbein, dessen griechische Benennung σκέλος (skelos) dem ganzen Knochengerüst nach dem größten seiner Teile den Namen „Skelet" eingetragen hat.

Die Muskeln und der Wille.

Die Maschinen und Motoren der Technik sind zum Ersatz tierischer und menschlicher Arbeit gebaut worden; daher stammt die Bezeichnung „Pferdekraft" für die Leistungseinheit der Maschine. Das Altertum verwendete hauptsächlich menschliche Arbeitskräfte auch zu den rohesten Kraftleistungen. So sehen wir z. B. zum Ziehen der übergewaltigen Lasten, welche bei den Bauten und Denkmälern der assyrischen und ägyptischen Könige zu bewegen waren, auf den alten Abbildungen, die der Zerstörung der Jahrtausende getrotzt haben, in endlos langen Zügen Menschen an Seile gespannt, um unter der Peitsche der Treiber und Aufseher etwa einen Monolithen oder eine jener kolossalen bärtigen Sphinxe zu bewegen, welche von ferne her, aus den Steinbrüchen im Gebirge, zu den Tempeln und Königspalästen geschleppt wurden. Erst der modernen Zeit ist es gelungen, diesen Bann zu brechen, der so lange über der Menschheit lag und ungezählte Tausende einst zu gedankenlosen Arbeitsmaschinen herabwürdigte. Die Maschinen unserer Technik, durch fallendes Wasser und Wind, durch von Wärme gespannte Luft und Wasserdämpfe, durch Elektrizität und Magnetismus getrieben, treten jetzt für den Menschen ein und lassen die Menschenarbeit mehr und mehr nur noch dort erforderlich erscheinen, wo es Denken und geistiges Aufmerken gilt. Der Menschenkörper ist eine Maschine, aber eine denkende Maschine.

Wenn wir auch heutzutage in außerordentlich viel vollkommenerer Weise die einer Maschine entsprechenden Einrichtungen des menschlichen Leibes erkannt haben, so war doch derselbe Vergleich jeder Zeit geläufig; schon die alten orientalischen Kulturvölker verglichen den Bau des Menschen mit der ihnen bekannten kompliziertesten Maschine, mit dem Ziehbrunnen. Sogar die griechischen Bezeichnungen für die der Körperbewegung vorzüglich vorstehenden Organe, für die Nerven und Sehnen, deuten darauf hin, daß man die Leistungen des Menschen mit denen der durch Fäden bewegten künstlichen Marionetten verglich, und noch das vorige Jahrhundert suchte Arbeitsleistungen des Menschen durch Automaten mit Federspannung und künstlichem Uhrwerk zu ersetzen. Die bedeutendsten Philosophen der letzten Jahrhunderte sind teils mehr, teils weniger von dieser Auffassung der menschlichen mechanischen Lebensthätigkeiten beherrscht. Aber erst seit der Entdeckung der durch Wärme bewegten Arbeitsmaschinen ist der Einblick in die im animalen

Organismus thatsächlich gegebenen mechanischen Verhältnisse ein tieferer und das wahre Verständnis derselben angebahnt. Wir vergleichen jetzt den arbeitenden Menschenleib mit einer durch Wärme getriebenen, mit einer kalorischen Maschine.

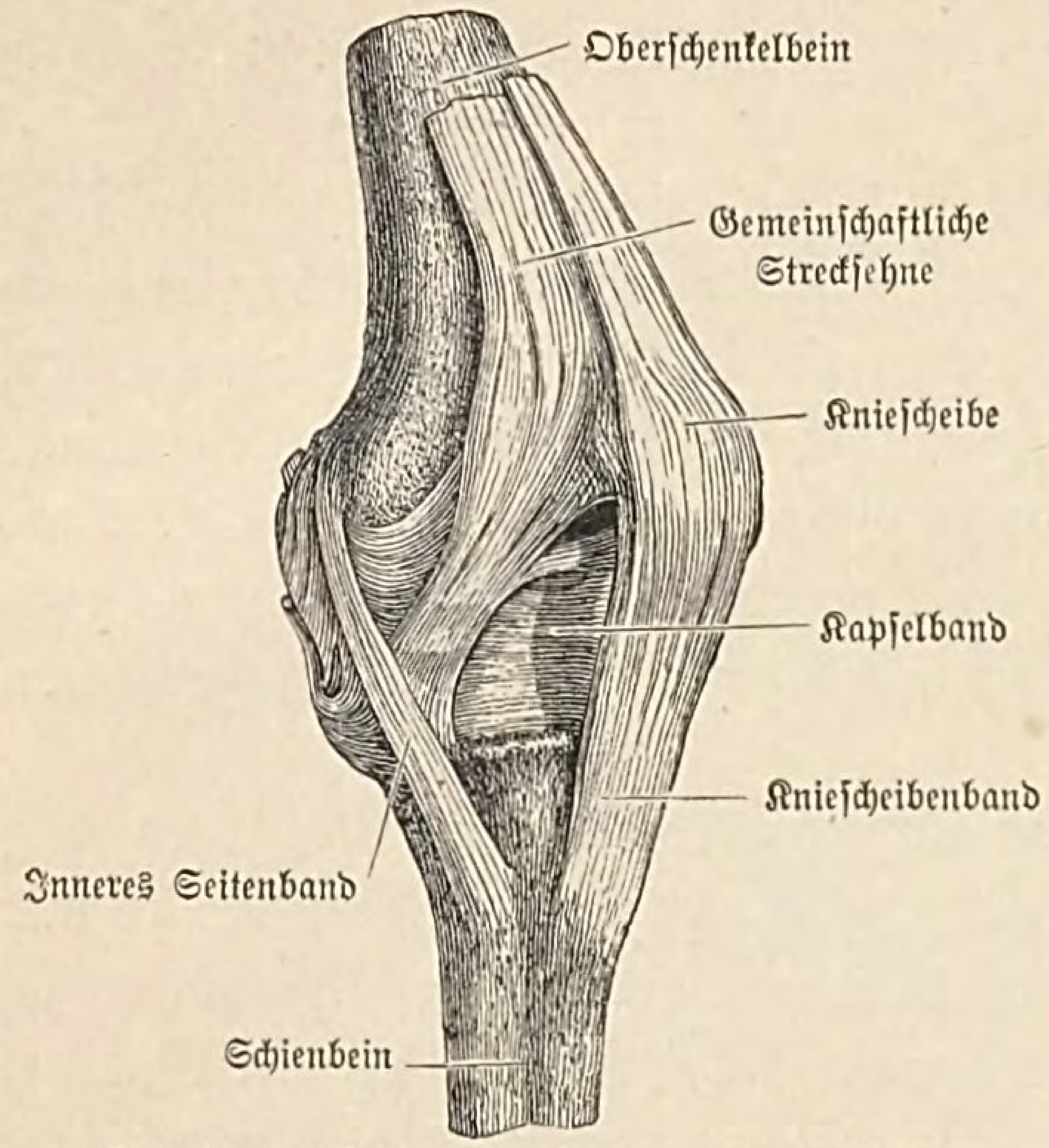
Durch Verbrennung von Holz, d. h. von vorwiegend kohlen- und wasserstoffhaltigem Heizmaterial, oder von annähernd reiner Kohle sehen wir in den kalorischen Maschinen Wärmebewegung erzeugt, die zunächst in Spannung des Wasserdampfes im Dampfkessel umgesetzt wird. Der unter den Kolben der Dampfmaschine geleitete gespannte Wasserdampf hebt den Kolben, und dieser sinkt dann, wenn der Druck von unten nachläßt, zu seiner Ausgangsstellung zurück. Diese einfache geradlinige Kolbenbewegung, das Auf- und Absteigen des Kolbens, wird durch Hebel, durch mechanische Gelenke, exzentrische Rollen und Räder in die mannigfaltigen Bewegungen umgesetzt, welche wir von der Maschine fordern.

Den Hebeln, Rollen und Gelenken der Maschine entsprechen der Bau und die Gliederung unseres Knochengerüstes. Die beweglichen Knochen stellen Hebel dar, verbunden mit Rollen und mannigfachen Gelenken, welche in ganz bestimmter Richtung und Ausdehnung Bewegungen gestatten und verbieten. Diese mechanischen Baueinrichtungen des Skelets wurden, da sie am leichtesten zu beobachten sind, auch am ersten erkannt; wir besitzen aus früherer Zeit vortreffliche Untersuchungen über die Thätigkeit und die Bauverhältnisse dieser passiv bewegten Maschinenteile unseres Körpers.

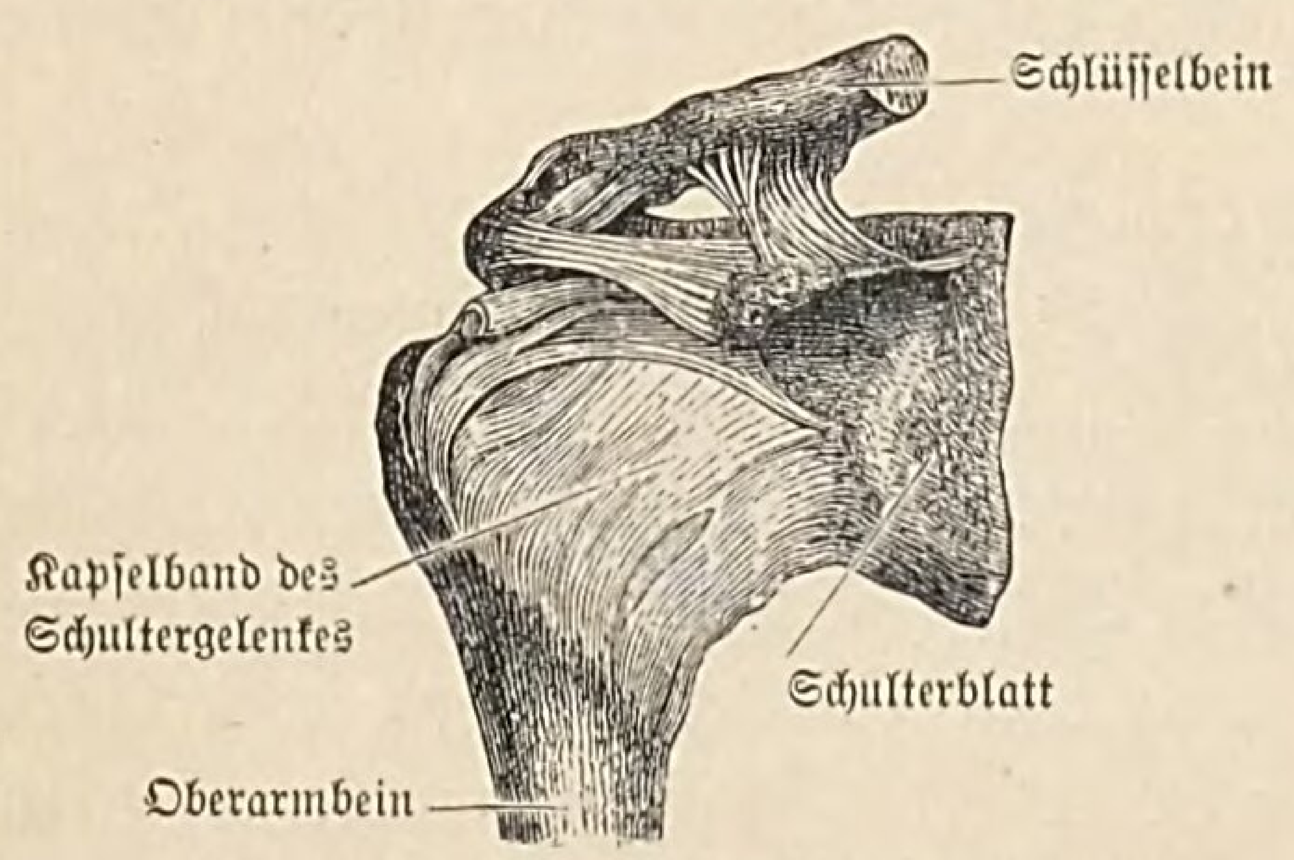
Die Mechanik verwendet für Herstellung der passiv bewegten Maschinenteile vor allem Metall, Stein und Holz. Die Natur bedient sich für ihre menschliche Maschine zu dem gleichen Zwecke eines Materials, welches die Vorzüge der genannten Materialien in sich vereinigt, der Knochensubstanz. Letztere besitzt durch ihre erdigen Bestandteile (vorwiegend phosphorsauren Kalk) die Festigkeit des Steines; die Beimischung von organischem Stoff (Knochenknorpel) erteilt ihr die Elastizität der Metalle. Außer der Knochensubstanz kommt für die Verbindung der einzelnen Knochen untereinander und zur Überkleidung der in den Gelenken beweglich aneinander stoßenden Knochenenden noch eine zweite, sehr elastische Substanz zur Verwendung, die eigentliche Knorpelsubstanz, und überdies sehen wir namentlich die mehr oder weniger beweglich verbundenen Skeletteile durch sehnige starke Häute und Bänder zusammengehalten und geschützt. Dadurch wird die Vollendung in der Ausführung der Bewegungen ermöglicht, in welcher der Menschenkörper noch von keiner Maschine erreicht wird. Die Abbildungen, S. 26, zeigen einige besonders wichtige derartige Bänder.

Den sehnigen Gebilden ganz analoge häutige Zwischenlagen tragen und befestigen alle inneren Organe unseres Leibes in ihrer bestimmten Stellung. Der ganze Körper ist mit all seinen Organen in ein häutiges Gerüst eingehüllt, dessen zarte häutige Ausläufer auch in das Innere der Organe eindringen. Knochen, Knorpel, Bänder, Sehnen und Sehnenhäute, die häutigen Hüllschichten und Zwischenlagen der Organe, die mächtige Lederhautschicht der äußeren Körperhülle, Gebilde, welche alle darin übereinstimmen, daß ihre Funktion wesentlich in einem Stützen und Binden der in höherem Grade aktiv thätigen Organe gipfelt, werden gemeinschaftlich als Bildungen des Bindegewebes zusammengefaßt. Mikroskop und Entwickelungsgeschichte lehren uns, daß diese theoretische Zusammenfassung des Bindegewebes einer wahren inneren Übereinstimmung, einer anatomisch-physiologischen Zusammengehörigkeit dieser scheinbar so verschiedenartigen Gewebe entspricht.

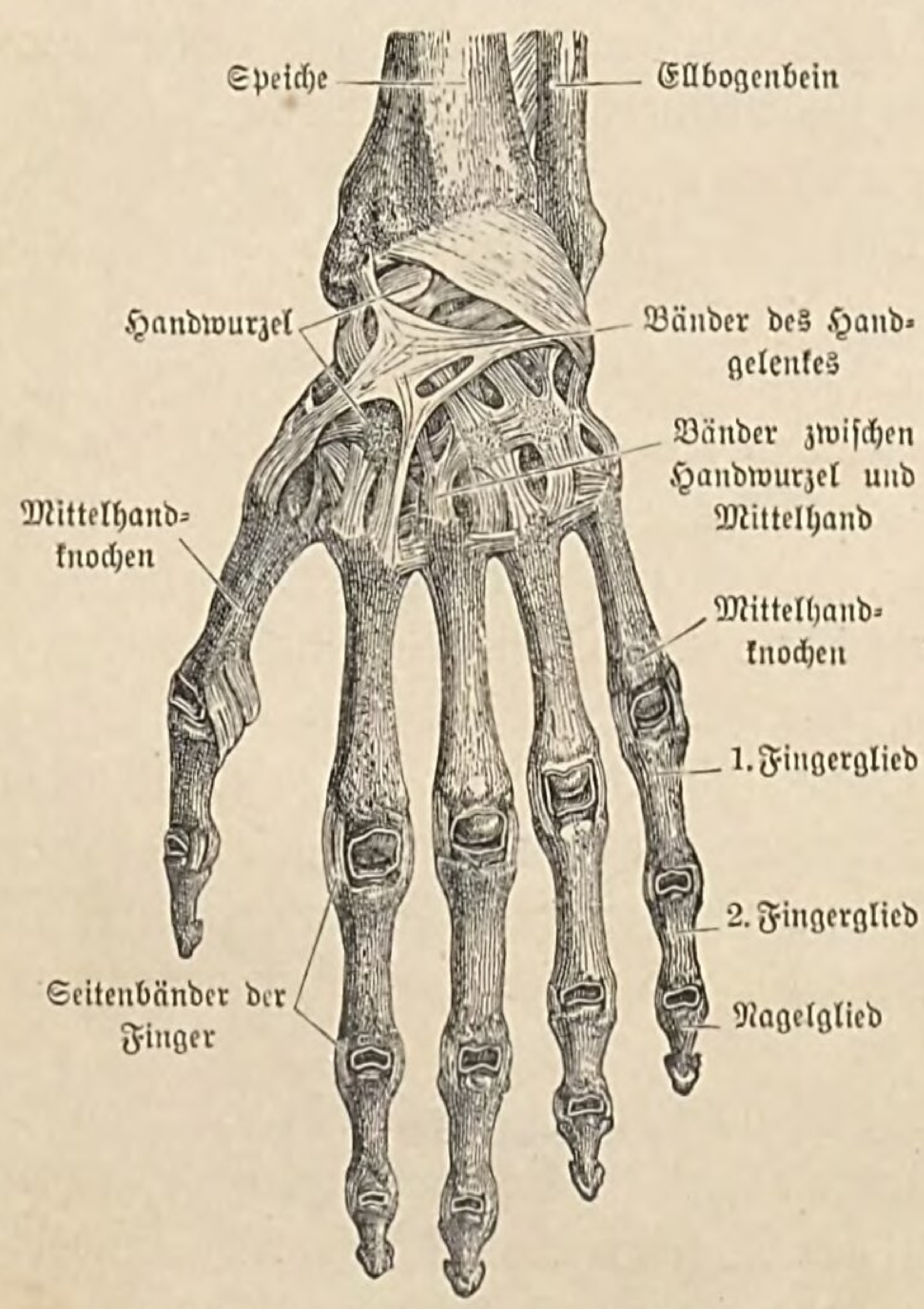
Der Kolben mit seinen geradlinig auf und ab steigenden Bewegungen bildet bei den Dampfmaschinen das Bewegungszentrum, von welchem durch die speziellen Übertragungsvorrichtungen alle Einzelbewegungen der Maschine ausgehen. Bei der Maschine des Menschenleibes sind es zwar auch einfach geradlinige, auf und ab steigende Bewegungen, die Zusammenziehungen der



Das linke Kniegelenk von vorn und innen.



Das rechte Schultergelenk von vorn.



Die Bänder der linken Hand, Handrücken.

Fleischfasern, der Muskeln, welche die einzelnen Maschinenteile und die gesamte animale Maschine durch die verschiedenartigen Übertragungsmechanismen zu ihren tausendfältigen Einzelbewegungen befähigen. Aber nicht von einer Zentralstelle aus, sondern für jede Einzelthätigkeit an Ort und Stelle, also in vieltausendfältiger Wiederholung, finden sich die Muskelfasern, welche, jede für sich in der gleich einfachen Weise wie der Kolben sich bewegend, die Knochenhebel in ihren Gelenken mit Rollen und anderen Übertragungseinrichtungen zur Thätigkeit bringen.

Die Außenfläche des Menschenkörpers wird von der gemeinsamen Körperhaut überkleidet, welche als schützende Decke den ganzen Leib umgibt und gleichzeitig als Sinnesorgan des Hautsinnes für die Erregung von Wärme- und Tastempfindungen sowie als Ausscheidungsorgan für Hautatmung, Schweißbildung und Wärmeabgabe thätig ist. Die äußere Körperhaut besteht aus der feinen, den Sinnesorganen sich anschließenden Oberhaut oder der Oberhautschicht und der dicken Lederhaut. Unter der Lederhaut liegt zunächst eine Fettschicht, welche bei wohlgenährten Personen die gerundeten Körperformen in erster Linie bedingt.

Denken wir uns die Haut mit dem unter ihr liegenden, nach Alter, Geschlecht, Ernährungsstand und Konstitution verschieden stark entwickelten Fettpolster von der gesamten Körperoberfläche des Menschen entfernt, so gewahren wir an einzelnen Stellen Teile des Knochengerüstes frei gelegt, die nur noch von mehr oder weniger zarten oder kräftigeren hautartigen, bindegewebigen Bedeckungen geschützt werden. Es sind das namentlich jene Stellen des Knochengerüstes, die als Ausgangspunkte für die Körpermessungen an Lebenden in den vorausgehenden Betrachtungen erwähnt wurden. Fast das ganze Knochengerüst erscheint aber von Fleisch umhüllt, und zwar einzelne Teile in mächtiger Schicht. Während das klassische Altertum auf die Autorität des Aristoteles in dem Fleische das Organ der allgemeinen Gefühlsempfindung, das Organ des Gemeingefühls, erkennen wollte, wissen wir seit den geistvollen experimentellen Untersuchungen

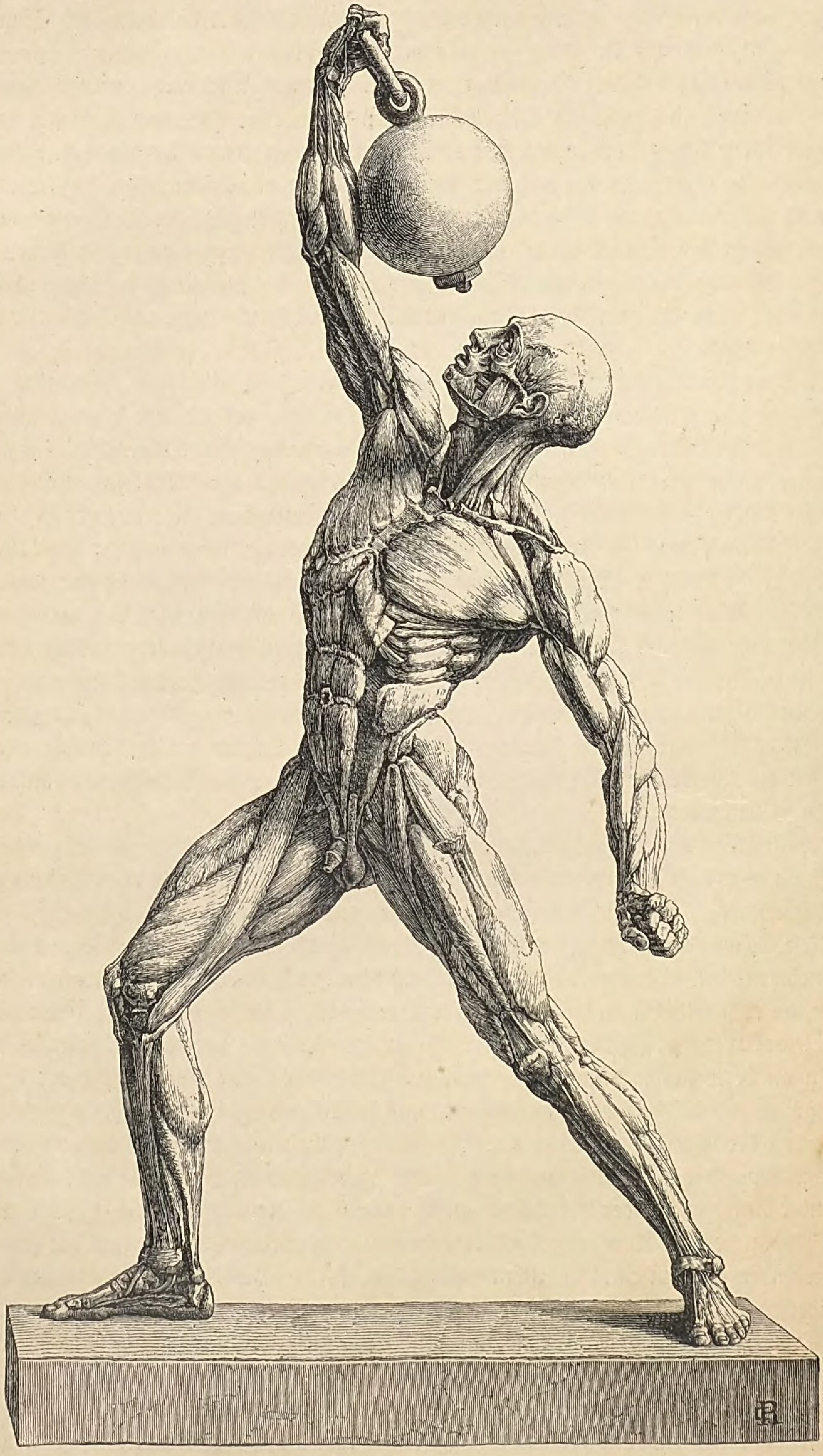
des Claudius Galenus aus Pergamon (131—203 n. Chr.), dessen Lehrgebäude für mehr als 1000 Jahre den Ärzten als unumstößliches Dogma und der selbst gleichsam als Schutzheiliger der Ärzte galt, daß wir im Fleische den hauptsächlichsten Bewegungsapparat des Körpers anzuerkennen haben. Galenus erkannte, daß das Fleisch aus einzelnen längeren und kürzeren, dickeren und dünneren Fleischbändern, den Muskeln, zusammengesetzt sei, welche, in bestimmter Weise durch Sehnen mit den Knochen verbunden, durch ihre Eigenbewegungen die Bewegungen des Gesamtkörpers und der Glieder desselben vermitteln. Die einzelnen Muskeln lassen nach ihrer Freilegung schon bei der äußeren Betrachtung eine gewisse Individualisierung erkennen, welche sich namentlich in einem für jeden Muskel gesetzmäßig verschiedenen Verlauf der mit freiem Auge sichtbaren Fleischfasern, aus welchen sich alle Muskeln zusammensetzen, zu erkennen gibt. Ein Blick auf die beigegebene Abbildung (S. 28) zeigt uns dieses Verhalten in anschaulicher Weise.

Die Anordnung der Muskeln im Körper ist eine symmetrische, so daß die Muskeln der Mehrzahl nach paarweise auf die beiden Seitenhälften des Körpers verteilt sind. Jedes typische Muskelindividuum, von denen die Anatomen am männlichen Körper 315, am weiblichen 314 Paare, außerdem beim Manne 5, beim Weibe 6 als unpaare Muskeln unterscheiden und mit eignen Namen benannt haben, besteht aus einem aus rotbrauner Fleisch- oder Muskelsubstanz gebildeten, meist dickeren Abschnitt, der den eigentlich bewegenden und arbeitenden Muskel, den Muskelbauch, darstellt. Der Muskelbauch besitzt in vielen Fällen eine mehr oder weniger ausgeprägte spindelförmige Gestalt, an welcher wir ein oberes und unteres Ende, Ursprungs- und Ansatzende, unterscheiden. An beiden Enden geht der Muskel, meist unter auffallender Verringerung seines Umfanges, in bläulichweiße Sehnensubstanz über, welche eine kürzere oder längere, in manchen Fällen hautartig flach sich ausbreitende, meist aber band- oder strangartig verlängerte Sehne, Muskelsehne, bildet. Nur mit den Enden seiner Sehnen ist der Muskel, wenn überhaupt, fest am Knochen befestigt, und zwar stets in der Weise, daß er in seiner Gesamtheit wenigstens ein Gelenk überbrückt.

Der fleischige Muskelbauch kann unter dem Einfluß des Nervensystems seine Gestalt verändern und beeinflußt und ändert dadurch die gegenseitige Stellung der in den Gelenken, die der Muskel überspringt, beweglich miteinander verbundenen Knochen.

Diese Gestaltsveränderung des fleischigen Muskelbauches, an welcher die Sehnen aktiv keinen Anteil nehmen, besteht darin, daß er normal auf Nervenreiz sich mit großer Kraft verkürzt, wodurch er, da er sein Volumen dabei nicht bemerkbar ändert, zugleich entsprechend dicker wird. Die Muskelverkürzung, die Muskelkontraktion, veranlaßt bei der natürlichen Befestigung der Muskeln an beweglich miteinander verbundenen Skeletteilen eine Annäherung der beiden Befestigungspunkte des Muskels an den Knochen und dadurch eine größere oder geringere Stellungsveränderung der letzteren gegeneinander. Je nach der Einrichtung des Gelenkes und entsprechend dem Angriffspunkt des Muskels an den von ihm beeinflußten Knochen muß diese an sich einfach geradlinige Annäherung der Muskelendpunkte ganz verschiedene Bewegungen des direkt beeinflußten Abschnittes des Knochengerüstes hervorrufen. Wenn wir an den aus der Schnittfläche hervorstehenden Sehnen eines abgeschnittenen Hühnerfußes ziehen, so können wir uns ohne weiteres überzeugen von diesen verschiedenen Wirkungen des primär geradlinigen Zuges, die bei diesem Experiment je nach der Sehne, an welcher wir ziehen, als Beugung oder Streckung der Zehen erscheinen.

Es gibt Athleten, welche fast jeden Muskel ihres Körpers einzeln spielen lassen, so daß wir durch die Haut das An- und Abschwellen verfolgen können. Jeder Muskel erscheint hier einer naiven Betrachtung als ein mit Einzelleben ausgestattetes Wesen, welches, in gewissem Sinne



Die Muskeln des Menschen (nach Chr. Roth). Vgl. Text, S. 27.

unabhängig von den übrigen Körperorganen, seine speziellen Thätigkeiten für den Haushalt des Organismus ausübt. Galenus hat die Muskeln mit einem Gespann von Pferden verglichen, welches der Wille als Wagenlenker an den Nerven wie an Zügeln lenke. Lange vor Aristoteles und mehr als ein Jahrtausend vor Galenus' bahnbrechenden Entdeckungen hatte der Geist der griechischen Sprache schon eine ganz ähnliche Auffassung von den Muskeln gewonnen. Homer spricht bei der Beschreibung der Kämpfe der Helden vor dem zehn Jahre bestürmten Troja von den Wadenmuskeln, die er ganz in dem Sinne Galenus' als gleichsam individuell lebende Wesen und zwar als Mäuse bezeichnet. Das griechische Wort μῦς (müs), welches im lateinischen Verkleinerungsausdruck musculus, auf deutsch Maus lautet, gilt noch bis auf den heutigen Tag für die Bezeichnung der Muskeln; unser Volk spricht in dem gleichen Sinne von Maus oder Mäuslein, z. B. in der Redensart: das Mäuslein ist vorgelaufen, wenn durch einen ungeschickten Stoß, etwa auf den Ellbogennerv, Muskeln unwillkürlich gereizt wurden und sich zusammenzogen.

Wir können als Hauptbewegungsarten der Glieder Streckung und Beugung betrachten. Beide werden durch Muskelverkürzung hervorgebracht, obwohl ihre Wirkungen einander direkt entgegengesetzt sind. An dem eignen Ellbogengelenk sehen wir, daß die Beugung nur nach der einen, die Streckung nur nach der anderen Richtung möglich ist. Die Muskeln, welche auf der Beugeseite des Armskelets angreifen, können infolge der Skeleteinrichtungen nur Beugung, jene auf der Streckseite dagegen nur Streckung hervorrufen. Solche Muskeln, welche, ihrem verschiedenen Ansatz an den Knochen entsprechend, eine direkt entgegengesetzte Wirkung, z. B. für die Bewegung eines Gliedes, ausüben, bezeichnen wir als Antagonisten oder Widerpartner. Die Beugemuskeln sind die Antagonisten der Streckmuskeln.

Indem jeder Muskel sich wieder aus einer großen Anzahl von Fleisch- oder Muskelfasern zusammensetzt, von denen meist jede für sich selbständig der Verkürzung fähig ist, vervielfältigt sich die Möglichkeit der Stellungsveränderungen der Skeletteile gegeneinander in staunenswerter Weise.

Wir bezeichnen die Bewegungen unserer Glieder, soweit sie vom Willen beeinflußt werden, als willkürliche, und auch den Muskeln, welche diese gewollten Bewegungen verstehen, geben wir den Namen: willkürliche oder animale Muskeln. Aber wir haben das keineswegs so zu verstehen, als könnte unser Wille, wenn eine bestimmte Bewegung ausgeführt werden soll, nun bewußt die Muskeln auswählen, welche zur Hervorbringung dieser Bewegung am geeignetsten oder allein dazu befähigt sind. Die mechanische Thätigkeit unserer Nerven und Muskeln, obwohl wir sie willkürlich hervorrufen, geht normal und trotzdem vollkommen unbewußt vor sich. Wir kennen ohne Studium weder die Organe des Nervensystems noch die Muskeln, mit deren Hilfe unser Wille arbeitet; ja, wir wissen in vielen Fällen sogar nicht, wo die Muskeln an unserem Körper sich befinden, deren Thätigkeit eine bestimmte gewollte Bewegung hervorruft. Wenn wir z. B. unsere Finger bewegen, so glauben wir diese Bewegung in den Fingern selbst oder in der Hand lokalisiert. Wir brauchen aber nur unseren Vorderarm nahe dem Ellbogengelenk zu umgreifen, um zu fühlen, daß die Fingerbewegungen an dieser Stelle durch Anschwellung und Abschwellung der Fleischmasse, durch Muskelkontraktionen, bewirkt werden. Die Muskeln, welche die Finger bewegen, haben ihre Muskelbäuche an beiden Seiten des oberen Endes des Unterarms. Sie senden von hier aus lange Sehnenstränge zur Hand und zu den einzelnen Fingern nach abwärts, welche, wie die langen Treibriemen, die von dem Motor zur eigentlichen Arbeitsmaschine gespannt sind, von diesem vergleichsweise weit entfernten Bewegungszentrum aus die geforderten Bewegungen der Finger hervorbringen.

In dieser Hinsicht herrscht sonach prinzipiell kein großer Unterschied zwischen jenen Bewegungen innerhalb unseres Organismus, auf welche wir, wie z. B. auf die Bewegung unseres Herzens und unserer Eingeweide, keinen direkten willkürlichen Einfluß auszuüben vermögen, und etwa den Bewegungen der Hand- und Armmuskeln, mit deren Hilfe wir willkürlich die feinsten Thätigkeiten ausführen. In beiden Fällen erfolgt die eigentliche Thätigkeit unbewußt; bei den willkürlichen Handlungen wissen wir nur, daß wir getrieben haben, aber wir wissen weder, wen wir getrieben haben, noch wie. Wir wünschen bei den bewußt ausgeführten Bewegungen zwar eine Leistung unserer Arbeitsorgane in einer bestimmten Richtung, und wir gelangen zu unserem Zwecke durch gewisse Willensthätigkeiten, welche nach den Ergebnissen der physiologischen Forschung zweifellos im Gehirn ablaufen; aber wir haben ohne dieses wissenschaftliche Studium gar keine Ahnung davon, wie und durch welche Apparate die Maschine unseres Körpers unseren Befehl ausführt; das gilt auch ganz speziell für das Gehirn. Es geht uns da ganz wie dem nur praktisch erfahrenen Wärter einer Dampfmaschine. Obwohl er den Bau und die Einrichtung der Maschine nicht oder nur oberflächlich kennt, weiß er genau, was er zu thun hat, um die Maschine in Gang zu setzen, wie er die Hähne zur Dampfleitung zu stellen, den Kessel mit Wasser zu füllen, die Heizung zu besorgen hat; er liest am Manometer den Druck ab und reguliert danach seine eigne Thätigkeit an der Maschine. Diese gehorcht ihm und führt seine Willensbefehle aus; sie steht still, sie läuft rasch oder langsam, im ganzen oder teilweise; aber der Wärter braucht nicht einmal zu ahnen, was für innere Thätigkeiten in der Maschine, welche Änderungen spezieller mechanischer Einrichtungen nach bestimmten mechanischen Gesetzen durch seine an der Maschine vorgenommenen Handthätigkeiten, die doch willkürlich den Gang der Maschine bestimmen, eingeleitet und bedingt werden. So ist auch unser Wille in unserem eignen Körper gleichsam ein Fremdling. Wir können ihn mit einem jener tyrannischen Herrscher vergleichen, von denen uns Herodot aus dem asiatischen Altertum berichtet, der, eingeschlossen in den innersten Mauerring der Königsburg, seine Organe, die Beamten, die seinen Willkürbefehlen gehorchen, ebensowenig kennt wie die Mittel und Wege, deren sich dieselben zur Ausführung seiner Befehle bedienen, und noch viel weniger die Bürger seines Reiches und ihre individuelle Thätigkeit, auf welcher doch schließlich die ganze Möglichkeit seines Willkürregiments beruht.

In ähnlicher Weise arbeiten alle Organe und kleinsten Organteile unseres Organismus, damit der souveräne Wille seine Leistungen hervorzubringen vermag, selbständig für sich zunächst auf eigne Rechnung. Muskeln und Nerven sind gleichsam die Beamten, deren sich der Wille direkt bedient; sie nehmen von den übrigen Organen das auf, was sie teils zum eignen Unterhalt, teils zur Ausübung der durch den Willen von ihnen geforderten Thätigkeiten bedürfen.

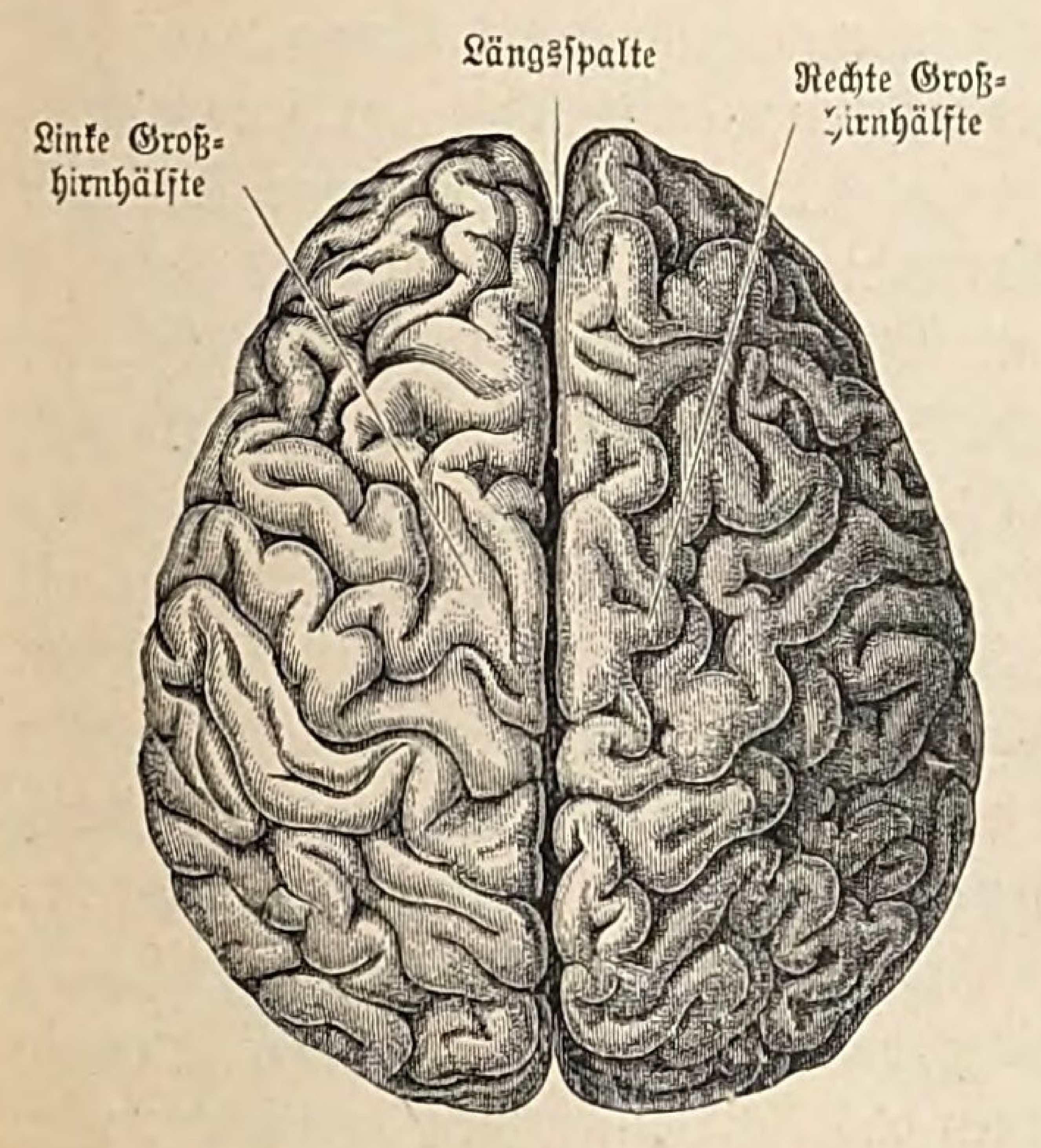
Die stille Arbeit der Organe, auf welche der Wille direkt keinen Einfluß auszuüben vermag, welcher er aber als unerläßliche Grundlage seiner Thätigkeiten absolut bedarf, bezeichnen wir als unwillkürliche und die Muskeln, welche diesen Vorgängen vorstehen, als unwillkürliche oder organische Muskeln zum Unterschiede von den willkürlichen oder animalen Muskeln, welche den Willensantrieben durch Bewegungen des Körpers und seiner Glieder mehr direkt dienen.

Wir werden in der Folge gewisse mikroskopische und physiologische Unterschiede kennen lernen zwischen willkürlichen und unwillkürlichen Muskeln, aber gleichzeitig erfahren, daß Übergänge diese Verschiedenheiten zu einer einheitlichen Reihe ergänzen. Die Muskelfasern und Muskeln, welche die unwillkürlich eingeleiteten mechanischen Bewegungen im Organismus besorgen, sind von den willkürlichen Muskeln nicht prinzipiell verschieden. Die unwillkürlichen Muskeln bilden vorwiegend beutelförmige Hohlorgane, wie Herz, Magen, Blase, Uterus, und fleischige Röhren, wie die Mittelschichten der Blutgefäße, der Verdauungs- und Ausscheidungsröhren.

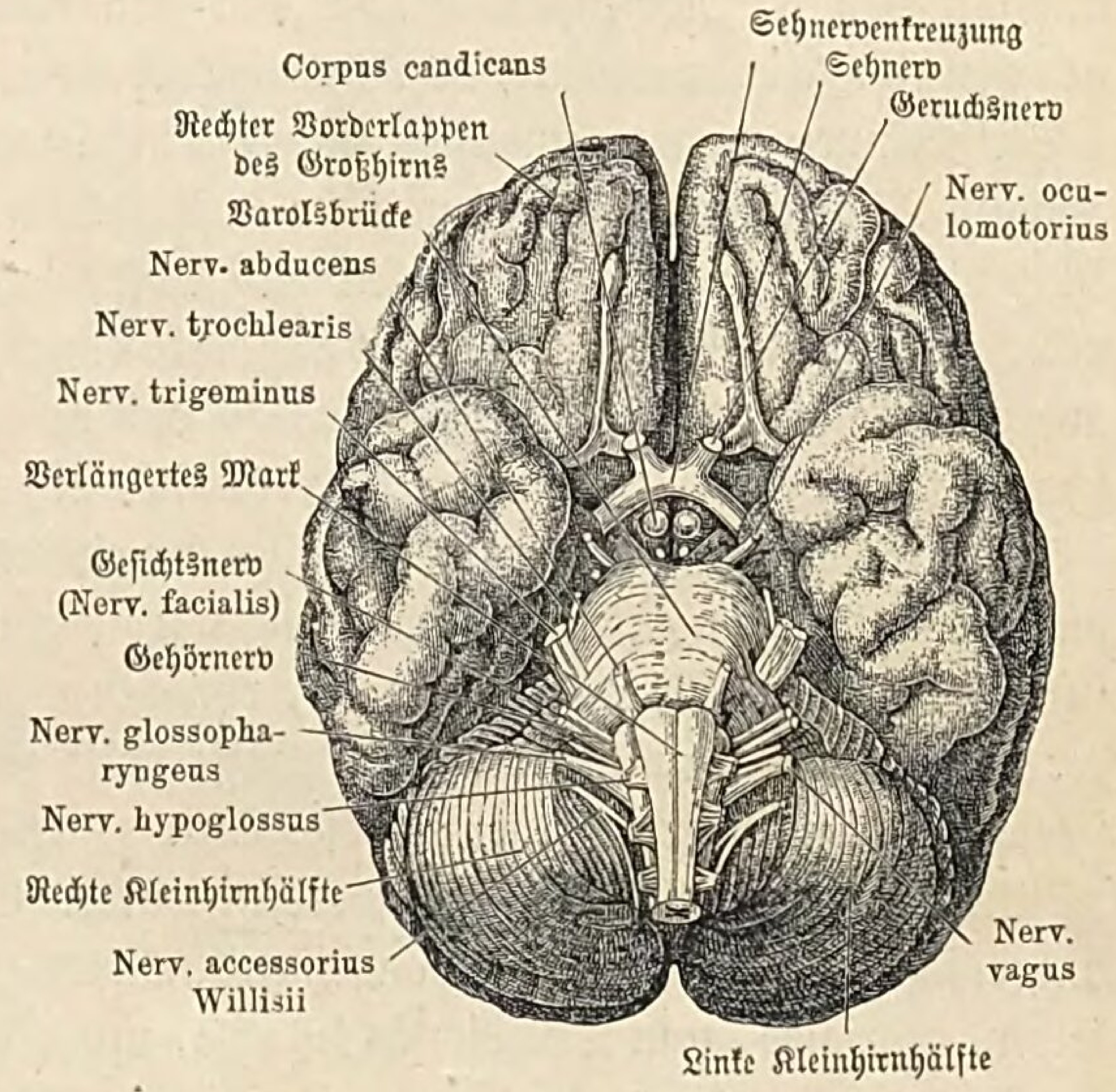
Das Nervensystem.

Wie im Organsystem der Muskeln, so unterscheiden wir auch im Nervensystem einen unwillkürlichen und einen willkürlichen Abschnitt. Der erstere, das sympathische Nervensystem, dient vorwiegend den geheimnisvollen Vorgängen der Ernährung und Ausscheidung, während der zweite, das Zentralnervensystem mit Rückenmark und Gehirn, die bewußt werdenden Empfindungen und die vorwiegend aus diesen sich ergebenden reflektorischen und Willensthätigkeiten vermittelt.

Beide, sowohl das sympathische Nervensystem als das Zentralnervensystem, bestehen aus Nervenfasern, d. h. weißer Nervenmasse, und aus Nervenzellen, d. h. grauer Nervensubstanz, eingebettet in ein zartes Stütz- oder Zwischengewebe (Neuroglia). Die graue



Das große Gehirn, von oben gesehen.



Die Basis des Gehirnes.

Nervensubstanz, die Substanz der Nervenzellen, läßt die zahllosen Nervenfasern, welche die weiße Nervensubstanz bilden, aus sich entspringen. Aus größeren und kleineren gemeinschaftlich von grauer und weißer Nervensubstanz gebildeten Anhäufungen von Nervenmasse sehen wir die zahllosen mikroskopisch feinen Nervenfasern hervorgehen, welche, zu Hunderten und Tausenden in Bündel vereinigt, alle irgend dickeren Nervenstämme bilden. Nach kürzerem oder längerem Verlauf lösen sich die Nervenstämme wieder in die Nervenfasern auf, welche jene Anhäufungen von grauer Nervensubstanz mit jedem, auch mit dem kleinsten Organ, dem kleinsten Organteil des Körpers verknüpfen.

Gehirn und Rückenmark (vgl. die Tafel bei S. 519) sind die massigsten Anhäufungen dieser Art von grauer und weißer Nervensubstanz; sie bilden in ihrem Zusammenhang das Zentralorgan des gesamten Nervensystems. Das Rückenmark ist eine dickwandige Röhre aus Nervensubstanz mit sehr engem Zentralkanal, welcher mit dem Höhlensystem des Gehirns und den Hirnhöhlen zusammenhängt. An dem im ganzen halbkugeligen Gehirn unterscheiden wir die Hauptmasse als das große von dem hinten und unten an demselben ansitzenden kleinen Gehirn, beide in Halbkugeln, Hemisphären, gegliedert; es liegt, in mehrere Häute gehüllt, in der knöchernen Schädelkapsel eingeschlossen, durch deren Öffnungen es die Nervenstämme zu den höheren Sinnesorganen, zu Nase, Auge, Ohr, aber auch die Bewegungs- und Empfindungs-

nerven für alle Organe des Kopfes heraustreten läßt. Die auf der Unterfläche, der Basis, des Gehirns (s. Abbildung, S. 31) befindliche Verbindungsbrücke, Varolsbrücke, des großen mit dem kleinen Gehirn läuft in einen konisch gestalteten Zapfen, das verlängerte Mark, aus, welcher noch in der Gehirnkapsel liegt und anatomisch zum Gehirn gerechnet wird. Das verlängerte Mark geht direkt in das lange, strangförmige Rückenmark über und tritt durch das große Hinterhauptsloch des knöchernen Schädels in den von den hinteren Wirbelbogen gebildeten Rückgratskanal ein. Indem es in diesem verläuft, läßt es auf der ganzen Strecke symmetrisch zahlreiche Nervenstämme aus sich hervortreten. Die vom Gehirn abgehenden Nervenstämme, 12 Paare, von denen nur ein einziges Paar, der Lungen-Magennerv oder herumschweifende Nerv, Nervus vagus, wie schon sein Name andeutet, weiter über die Region des Kopfes hinaus, und zwar zu den wichtigsten Eingeweiden: Lungen, Herz, Magen 2c., verläuft, werden als *Gehirnnerven* von 31 Nervenpaaren, die aus dem Rückenmark entspringen, den *Rückenmarksnerven* (8 Halsnervenpaare, 12 Rückennervenpaare, 5 Lendennervenpaare, 5 Kreuznervenpaare, 1 Steißbeinnervenpaar), unterschieden. Die Rückenmarksnerven vermitteln die nervösen Einflüsse zwischen Rückenmark einerseits und der empfindlichen äußeren Körperhaut und der willkürlichen Muskulatur anderseits. Das Rückenmark selbst übernimmt die nervöse Verbindung des Rumpfes nebst all seinen Gliedern und Organen mit dem Zentralsitz der höheren nervösen Thätigkeiten, mit dem Gehirn. Wie die Muskeln, so sind auch die *Nerven paarig und vollkommen symmetrisch* für beide seitlichen Körperhälften angeordnet.

Durch den ganzen Körper, in allen unwillkürlich thätigen Organen zerstreut, finden wir außerdem kleine und kleinste Anhäufungen von grauer und weißer Nervensubstanz. Sie bilden nervöse Knötchen, *Nervenganglien*, von denen Nervenstämmchen und -Fasern abtreten. In der Bauch- und Brusthöhle und im Halse läuft zu beiden Seiten des Rückgrats je ein durch solche Ganglien unterbrochener nervöser Strang, welcher als das eigentliche Zentralorgan der unwillkürlichen Nerventhätigkeit angesprochen wurde. Er wird als *Grenzstrang* des sympathischen Nervensystems bezeichnet. Die von seinen Knötchen ausgehenden Nervenstämme und -Stämmchen bilden mehrfache, zum Teil dichte Geflechte, unter denen das als Bauchgehirn bezeichnete, über der Aorta an der Eintrittsstelle derselben in die Bauchhöhle liegende *Sonnengeflecht* das berühmteste ist. Alle sympathischen Nerven stehen untereinander in Verbindung. Auch die unwillkürlichen oder sympathischen Nerven bilden also ein geschlossenes System nervöser Bahnen, welches als Ganzes *Sympathikus*, *sympathisches Nervensystem*, oder nach den zahlreichen Nervensubstanzknötchen, von denen jedes für sich ein kleines nervöses Zentralorgan darstellt, *Ganglien-nervensystem* benannt wird.

Eine vollkommene *Scheidung zwischen Gehirn und Rückenmark* mit den von ihnen ausgehenden Nerven und dem sympathischen Nervensystem *existiert nicht*. Wir sehen, namentlich zahlreich vom Grenzstrang aus, den Sympathikus Verbindungsfäden zu dem Zentralnervensystem senden; zahlreiche Nervenfasern, aus dem Rückenmark und Gehirn stammend, treten anderseits in die sympathischen Nervengeflechte ein, so daß beide nervöse Zentralsysteme als ein zusammenhängendes Ganzes erscheinen. Die zur normalen Ernährung notwendigen nervösen Einflüsse des Sympathikus kann auch das Zentralnervensystem nicht entbehren. Empfindungs- und Bewegungsantriebe und andere nervöse Einflüsse werden von den beiden nervösen Systemen gegenseitig aufeinander ausgeübt.

Das Nervensystem in seiner Gesamtheit repräsentiert die individuelle Einheit unseres Organismus. Durch das willkürliche und unwillkürliche Nervensystem sind alle Organe und Organteile des Körpers zu einem einheitlichen Ganzen miteinander verbunden, dessen einzelne Teile unter gegenseitigem Einflusse stehen.

Die mit gesetzmäßigen elektrischen Vorgängen auftretenden Thätigkeiten des Nervensystems gipfeln in bewußter Empfindung und willkürlicher oder, besser gesagt, bewußter Bewegung; beide Thätigkeiten gehören dem Zentralnervensystem, dem Gehirn und Rückenmark mit ihren Nerven, zu. Bewegungen der Außenwelt wirken „erregend" auf die in den Sinnesorganen liegenden Nervenendigungen ein; diese leiten durch die Nervenfasern den Erregungszustand entweder direkt oder durch Vermittelung des Rückenmarks zum Gehirn. Der dadurch in diesem nervösen Zentralorgan erregte veränderte Zustand ist es, welcher vom Bewußtsein ergriffen und dadurch zu einer Empfindung gestaltet werden kann.

Anderseits können vom Gehirn aus direkt oder durch Vermittelung des Rückenmarks in dem nervösen Zentralorgan selbst vorhandene, entweder hier entstandene oder von außen auf dem soeben beschriebenen Wege durch die Sinnesnerven hervorgerufene Erregungszustände an jene Nerven übertragen werden, welche vom Gehirn und Rückenmark zu den Muskeln verlaufen. Die von der Zentralstelle aus „erregten" Nerven bringen dann eine „Reizung" der Muskeln hervor, mit denen sie verknüpft sind. Die „gereizten" Muskeln ziehen sich zusammen und erzeugen dadurch jene Stellungsveränderungen im Knochengerüst, welche den Bewegungen und mechanischen Arbeitsleistungen des Gesamtkörpers und der Glieder zu Grunde liegen.

Als Empfindungsnerven oder sensible Nerven bezeichnen wir jene nervösen Bahnen, die einen „Erregungszustand" im Gehirn und Rückenmark hervorrufen durch Übermittelung gewisser den Körper an „empfindlichen" Stellen treffenden Bewegungsvorgänge der Außenwelt. Die sensibeln Nerven leiten die Erregung von der Peripherie des Körpers (von den Sinnesorganen) zu dem nervösen Zentralorgan. Man hat den Empfindungsnerven auch, ihrer dem Zentrum zustrebenden Leitungsrichtung entsprechend, den Namen zentripetal leitende Nerven gegeben. Jene Nerven dagegen, welche vom nervösen Zentrum aus einen dort vorhandenen, primär dort entstandenen oder von außen dort hervorgerufenen Erregungszustand zu den der Körperperipherie näher gelegenen Organen, namentlich zu den Muskeln, leiten und dadurch diese zur Thätigkeit anregen, heißen Bewegungsnerven, motorische Nerven, oder, da in ihnen die Erregungsleitung vom Zentrum hinweg nach außen strebt, zentrifugal leitende Nerven.

Es sind ganz verschiedene Bewegungen und Anstöße, „Reize", der Außenwelt, welche, indem sie die Körperperipherie treffen, die Enden der dort verborgenen Empfindungsnerven zu erregen vermögen. Wir nennen die Gesamtheit der an der Körperoberfläche und in den von hier aus zugänglichen Körperhöhlen gelegenen, in höherem Maße empfindlichen Körperteile Sinnesorgane. Das wichtigste Sinnesorgan ist die Haut, welche die Tast- und Wärmeempfindung vermittelt. Außerdem unterscheiden wir noch Sinnesorgane für das Gesicht, das Gehör, den Geruch und den Geschmack. Jedes Sinnesorgan ist für die Erregung der in ihm sich vorbereitenden Nervenendigungen durch eine ganz bestimmte Gruppe äußerer Reize speziell eingerichtet. Mechanische Stöße, Druck und die Wärmebewegung (in gewissen Fällen auch elektrische und chemische Einwirkungen) vermögen die Hautnerven in den Erregungszustand zu versetzen und dadurch Tast- und Wärmegefühle hervorzurufen. Die rasch aufeinander folgenden Bewegungen und Wellenschwingungen der Luft und anderer elastischer Körper erregen das Gehörorgan und veranlassen dadurch Schall- und Tonempfindungen. Die zarten Wellenbewegungen des Lichtes gelangen zu den im Hintergrunde des Auges geschützt gelegenen Endorganen der Sehnerven und erregen diese durch Anstoß oder durch photochemische Wirkungen zur Hervorrufung von Licht- und Farbenempfindungen. Gasförmige chemische Stoffe reizen die Geruchsnervenendigungen und werden dadurch Veranlassung zu den Geruchsempfindungen; in wässeriger Flüssigkeit gelöste chemische Stoffe bringen durch Erregung der Geschmacksnerven Geschmacksempfindungen hervor.

Auch in dem sympathischen Ganglienervensystem, welches, wie gesagt, den unwillkürlichen nervösen Vorgängen in unserem Körper vorsteht, finden sich zentrifugal und zentripetal leitende Nervenfasern. Die Reizzustände beider Art bringen im Ganglienervensystem aber normal und für sich allein keine Einwirkung auf das Bewußtsein hervor. Durch den zentripetal, d. h. hier durch den dem Nervenknötchen, dem Ganglion, vermittelst sympathischer Nervenfasern zugeleiteten Erregungszustand kommt das kleine Nervenzentralorgan, das Ganglion selbst, in den Zustand der Erregung und pflanzt diesen Zustand auf die von ihm entspringenden zentrifugal leitenden Nervenfasern fort; dadurch werden die mit den letzteren verknüpften erregbaren Organe in Thätigkeit versetzt. Mit den zentrifugal leitenden Nervenfasern sind im sympathischen Nervensystem die „unwillkürlichen" Muskeln und Muskelfasern der Eingeweide, auch der Blutgefäße und des Herzens verknüpft, deren Thätigkeiten vom Ganglienervensystem angeregt werden. Das Zentralnervensystem besitzt auf diese vom Sympathikus eingeleiteten Bewegungen nur einen unbewußten regulierenden Einfluß, welchen es durch die von ihm ausgehenden „regulierenden oder Hemmungsnerven" (z. B. durch den Nervus vagus, welcher die Herzbewegung reguliert) ausübt. Aber außer den zentrifugal leitenden Nervenfasern, welche die Bewegungen der unwillkürlichen Muskeln veranlassen, gehören zum Sympathikus auch noch andere, ebenfalls zentrifugal von seinen nervösen Zentren aus anzuregende Nervenfasern, deren Erregungszustand die Absonderungsthätigkeit von Drüsen, z. B. die Absonderung von Speichel in den Speicheldrüsen, die Absonderung von Magensaft in den Magensaftdrüsen und andere, hervorzurufen und in ganz bestimmter Weise zu verändern vermag. Diese „Drüsennerven" werden Absonderungsnerven oder, da die Absonderungsthätigkeit als Sekretion, das Absonderungsprodukt der Drüsen als Sekret bezeichnet wird, Sekretionsnerven oder sekretorische Nerven genannt. Auch auf die Absonderungsthätigkeit der Drüsen steht dem Zentralnervensystem nur ein unbewußt ausgeübter regulierender Einfluß zu. Die Einflüsse, welche wir von seiten der sympathischen Nerven auf die Ernährung der Organe ausgeübt sehen, werden ebenfalls vom Nervenknötchen weg, d. h. also zentrifugal zu den im Verhältnis zum Nervenknötchen peripherisch gelegenen Organen, geleitet. Dieser ernährende nervöse Einfluß wird als trophischer Einfluß, die Nervenfasern, welche diesen ernährenden Einfluß ausüben, als trophische Nerven bezeichnet. Nervenfasern, welche dazu dienen, die einzelnen Nervenknötchen, die kleinen sympathischen Nervenzentren, miteinander zu verknüpfen, tragen den Namen Zwischenleitungsfasern oder interzentrale Fasern. Im Inneren der Nervenknötchen selbst, ebenso auch und zwar noch in außerordentlich viel reicherer Weise in der Nervenmasse von Gehirn und Rückenmark finden sich Nervenfasern, welche die letzten mikroskopisch kleinen Thätigkeitsherde des Nervensystems, die Nerven- oder Ganglienzellen, untereinander in Beziehung setzen; auch sie heißen interzentrale oder Zwischenleitungsfasern.

Auf die tausendfältigen Erregungs- und Reizzustände im sympathischen Nervensystem, welche normal vollkommen ohne Beeinflussung unseres Bewußtseins vor sich gehen, wird nur der Kranke durch Schmerzen, hervorgerufen durch die gestörte Thätigkeit des kranken Organs, aufmerksam gemacht. Aber auch im Zentralnervensystem spielt sich, wie wir schon angedeutet haben, eine beträchtliche Anzahl von Vorgängen der Erregung und Reizung ab, von denen das Bewußtsein keine Notiz nimmt oder wenigstens keine Notiz zu nehmen braucht. Von den regulatorischen Einflüssen durch das Zentralnervensystem haben wir das schon erwähnt, aber es kann auch der ganze Erregungsvorgang der zentrifugal leitenden Nerven der Sinnesorgane mit der damit im Rückenmark und Gehirn gesetzten Reizung, welche sich als Erregung auf Bewegungsnervenfasern überträgt und dadurch die Thätigkeit bestimmter Muskeln oder Muskelgruppen veranlaßt, vollkommen ohne Beteiligung des Bewußtseins verlaufen. Die Erregung strahlt von der Peripherie her auf der Bahn eines Empfindungsnerven in das nervöse Zentrum ein und wird

von hier ohne weitere Verbreitung sofort wieder auf der Bahn eines nachbarlich entspringenden Bewegungsnerven nach außen geworfen, reflektiert, ohne daß unser Bewußtsein von dem Vorgange getroffen zu werden brauchte. Es sind das jene wunderbaren Reflexvorgänge, welche uns mehr als irgend etwas anderes die relative Unabhängigkeit der Verrichtungen unseres Körpers von Willen und Bewußtsein lehren.

Die einzelnen Organe unseres Körpers und sogar die kleinsten mikroskopischen Organteile selbst, die Zellen, führen ein primär in sich ruhendes, individuell abgeschlossenes Dasein; ihr Leben wird durch das Nervensystem einer einheitlichen, zunächst unbewußten Direktion untergeordnet, welche in einem bestimmten willkürlichen, bewußten Verhalten des Individuums seinem Körper und der Außenwelt gegenüber zu gipfeln vermag.

Das Gefäßsystem.

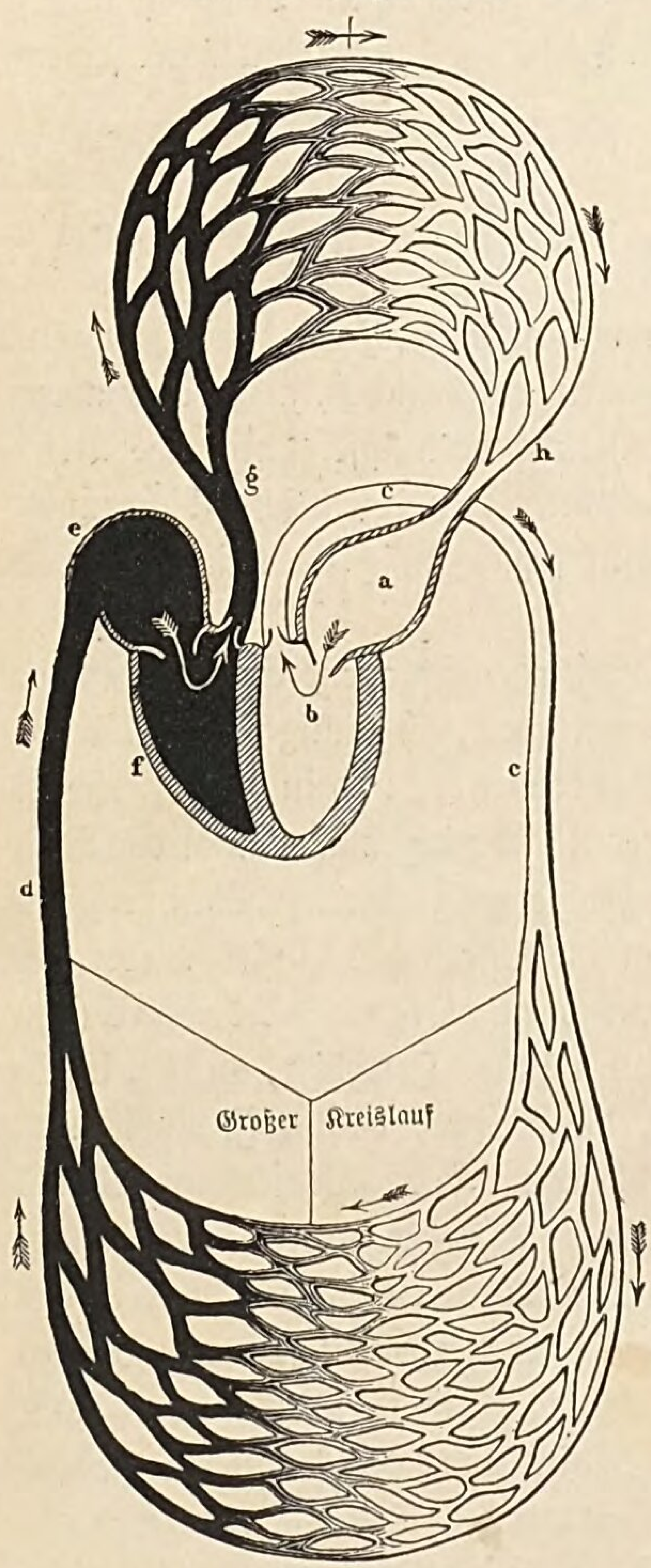
In ähnlicher Weise wie durch das Nervensystem sehen wir noch durch ein zweites Organsystem die Organe und kleinsten Organteile zu einem gemeinsamen, einheitlichen, aber vollkommen unwillkürlichen Verhalten innerhalb der Grenzen des Organismus verknüpft: durch das Blut und das Blutgefäßsystem. Die Zentralisierung der dem Blute, dem eigentlichen Nahrungs- und Lebenssaft des Körpers, zustehenden Thätigkeiten erscheint sogar zunächst als eine noch viel weiter gehende als jene im Nervensystem.

Von dem Herzen ausgehend, welches durch eine vollständig geschlossene Scheidewand in eine rechte und eine linke Herzhöhle getrennt wird, von denen jede durch häutig-sehnige Ventileinrichtungen, Herzklappen, in einen kleinen oberen, die Vorkammer, und in einen größeren unteren Abschnitt, die Herzkammer, zerfällt, strömt (von der linken Herzkammer aus) das Blut in die durch die rhythmische Herzbewegung in gleichmäßiger Folge pulsierenden, d. h. durch neu vom Herzen her eingepreßtes Blut anschwellenden und dann im Abfluß des Blutes wieder abschwellenden, Schlagadern, Arterien, und von diesen aus in alle Organe des Körpers (vgl. die Tafel bei S. 205). Aus dem größeren unteren Abschnitt der linken Herzhöhle, aus der linken Herzkammer, tritt zunächst eine einzige große Schlagader, die Aorta, hervor (s. Abbildung, S. 36). Während dieselbe, vom Herzen sich im Bogen abbiegend, durch Brust- und Bauchhöhle als ein mächtiges Blutgefäß nach abwärts steigt, sehen wir sie größere und kleinere Schlagaderzweige abgeben und endlich in zahlreiche Endzweige zerfallen, durch welche das Blut in das Innere der Organe gelangt. In den Organen löst sich jedes von der Aorta abstammende Schlagaderästchen in eine zahllose Menge haarfeiner Kanälchen, in Haargefäße, Kapillaren, auf, aus deren zarten Wandungen die notwendige Quantität von Nährsaft in jeden kleinsten Organteil austritt. In entgegengesetzter Richtung strömen aus den Organen die für das Organleben unbrauchbar gewordenen Stoffe als Gase und Flüssigkeiten in die Haargefäße und das Blut ein. Durch Stoffabgabe und -Aufnahme erfolgt auf diese Weise eine wesentliche Veränderung in der chemischen Zusammensetzung des Blutes der Haargefäße, eine Umwandlung, welche sich auch dem freien Auge sichtbar macht. Das hellrot in den Schlagadern vom linken Herzen herströmende Arterienblut, welches die lichte Färbung dem reichen Gehalt an Lebensluft, an Sauerstoff, verdankt, wandelt seine Färbung bei dem Durchgang durch Kapillargefäße in eine mehr blaurote, dunklere um. Das Blut hat an die Organe Sauerstoff abgegeben und dafür ein anderes in der Lebensthätigkeit der Organe entstandenes giftiges Gas, Kohlensäure, aus den Organen in sich aufgenommen, neben anderen in Flüssigkeit gelösten festen Organzersetzungsprodukten. Mit diesen Auswurfstoffen beladen, aber namentlich durch die Kohlensäure, welche für Tiere und Menschen ein heftig wirkendes Gift ist, und durch den Verlust an Sauerstoff hört das Blut auf,

eine brauchare Nahrungsflüssigkeit für die Organe zu sein. Es muß gereinigt und neu mit Sauerstoff versehen werden, ehe es wieder seine Belebungsaufgaben vollkommen zu erfüllen vermag. Für diese Reinigung des Blutes ist durch die Einrichtungen des Organismus in der ausgiebigsten Weise gesorgt, ehe das Blut von neuem vom Herzen den Organen zugeleitet wird.

Im Anschluß an die Netze der feinen Haargefäße setzen sich wieder weitere und dickwandigere Blutgefäße aus kleinen Zweigen und Ästen zusammen, durch welche das Blut zu dem Herzen zurückströmt. Das in den Kapillargefäßen blaurot gewordene Blut wird als venöses Blut, die Gefäße, in welchen es zu dem Herzen zurückströmt, als Venen oder Blutadern bezeichnet. In zwei großen Gefäßbahnen, den Hohlvenen, welche sich erst an der Eintrittsstelle ins Herz miteinander vereinigen, gelangt das venös gewordene Blut zum Herzen, aber zunächst in die von der linken Herzhöhle, aus welcher die Aorta entspringt, durch die vollkommen trennende Herzscheidewand geschiedene rechte Herzhöhle, und zwar zuerst in die Vorkammer, aus welcher es in die rechte Herzkammer eintritt. Um zu dem Ausgangspunkt der Blutbewegung, in die linke Herzhöhle, zurückzugelangen, hat das Blut erst noch seinen Weg durch die Lungen zu nehmen, in welche dasselbe aus der rechten Herzkammer durch eine weite Schlagader, die Lungenschlagader, infolge der Zusammenziehung des Herzens eingepreßt wird. Die Lungenschlagader, welche nach unseren Angaben venöses, blaurotes Blut enthält, zerfällt zunächst in jedem der beiden Lungenflügel in einen starken Ast, der sich mannigfach verzweigt und zuletzt in die feinsten Haargefäße auflöst; diese umspinnen die feinsten Hohlräume der Lunge, die durch die Atmung mit Luft gefüllten Lungenbläschen, im dichtesten Netze. Während das venöse Blut in Kapillargefäßen an der zarten Wandung der Lungenbläschen hinströmt, nimmt es aus der Lungenluft wieder Sauerstoff auf und läßt dafür die aus den Organen aufgenommene Kohlensäure in die Lungenluft abrauchen, von wo sie durch die Ausatmung entfernt wird. Indem sich die Lungenkapillaren wieder zu kleinen Zweigen und Ästchen und diese in vier größere Stämmchen, die Lungenvenen (welche sonach hellrotes Blut führen), sammeln, strömt durch diese Gefäße das neu durch Sauerstoffaufnahme belebte und von Kohlensäure gereinigte Blut aus den Lungen in die linke Herzhöhle, und zwar zunächst in die linke Vorkammer zurück, um von hier aus, in die linke Herzkammer eingetreten, den Kreislauf durch die Aorta von neuem zu beginnen. Der Weg, welchen das Blut von der linken Herzkammer durch die Aorta, die Körperkapillaren und durch die Hohlvenen zur rechten Herzhöhle zurücklegt, ist der große Kreislauf des Blutes. Der kürzere Weg, von der rechten Herzkammer durch die Lungenarterie, die Lungenkapillaren und dann durch die Lungenvenen zur linken Herzhöhle zurück, heißt der kleine Kreislauf des Blutes.

Kleiner oder Lungenkreislauf.

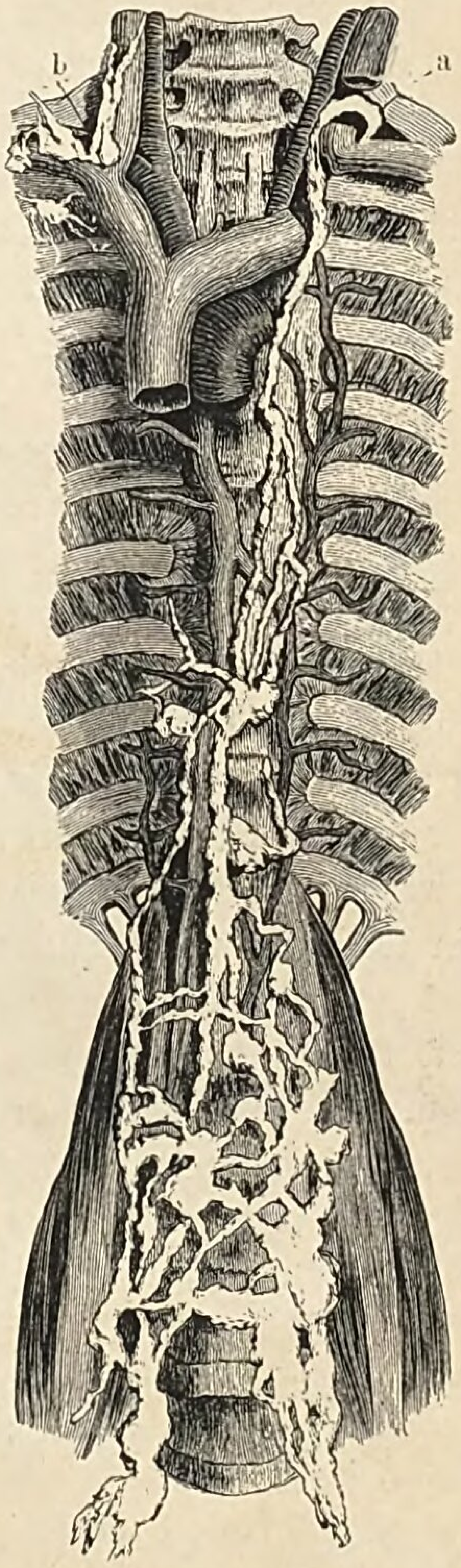


Schema des Blutkreislaufes.
a) Linker Vorhof des Herzens, b) linke Herzkammer, c) große Körperschlagader (Aorta), d) Hohlvene, e) rechter Vorhof, f) rechte Herzkammer, g) Lungenschlagader, h) Lungenvenen.

In besonderen Ausscheidungsorganen, namentlich in den Nieren und zuzeiten teilweise auch an der Hautoberfläche, werden die nicht luftförmigen Organzersetzungsstoffe, die das Blut aus den Organen aufgenommen hat, zur Ausscheidung gebracht. Durch die Lunge und die Ausscheidungsdrüsen wird auf diese Weise das Blut von all den Stoffen befreit, welche, aus der Organzersetzung stammend, der Ernährung nicht mehr zu dienen vermögen oder teilweise sogar, wie z. B. die Kohlensäure, dem Leben (als sogenannte Organgifte) direkt schädlich sind.

Dadurch, daß das Blut bei dem Durchströmen durch die Kapillaren von seinen Stoffen an die Organe abgibt, verarmt es nach und nach an allen seinen Bestandteilen. Das Blut muß sonach, um seine Ernährungsaufgabe auf die Dauer ausführen zu können, in gewisser Folge neue Ersatzstoffe, Nahrungsstoffe, in sich aufnehmen.

Zu diesem Behufe sehen wir mit dem Blutgefäßsystem noch ein anderes Gefäßsystem, das *Saugadersystem* oder *Lymphgefäßsystem*, in offener Verbindung stehen, welches dem Blut in der Form von *Lymphe* Ersatzmaterial zuführt. Durch das Lymphgefäßsystem wird dem Blut der fortwährende Verlust an nicht gasförmigem Stoffmaterial ersetzt, und zwar nicht nur aus den Verdauungsorganen, sondern aus allen Organen saugen Lymphgefäße den im Augenblick dort unnötig gewordenen Nährstoff in das Blut zurück. Am reichlichsten freilich schlucken die zarten, in die Wandungen der Eingeweide eingesenkten Wurzelkapillaren der Lymphgefäße jene durch die Verdauung gebildete milchartige Nährflüssigkeit in sich ein. Die feinen, knotig erscheinenden Gefäßstämmchen der Lymphgefäße vereinigen sich vor dem ersten oder zweiten Lendenwirbel zu einem an der Rückwand der Brust-Bauchhöhle rechts von der Aorta zum Herzen in die Höhe steigenden weiteren Gefäßstamme, dem *Milchbrustgang*, wie dieses Gefäß nach seinem namentlich während der Verdauungsperiode rahmähnlichen weißen Inhalt genannt wird (s. nebenstehende Abbildung). Der Milchbrustgang senkt sich in der Nähe des Herzens in das venöse Hohlvenensystem (und zwar in den Anfang der linken „ungenannten Vene“, Vena anonyma) ein. Er erhält die Lymphe von den Gedärmen und der ganzen linken Körperseite. Ein zweiter, kleinerer Saugaderstamm führt Lymphe von der rechten Seite des Brustkastens, des Herzens, der Speiseröhre und der rechten Lunge, eines Teiles der Leber, der rechten Hälfte des Kopfes und der rechten oberen Extremität und öffnet sich in die rechte „ungenannte Vene“. Jener rahmähnliche weiße, stark fetthaltige Anteil von Lymphe, welcher aus der Verdauung der aufgenommenen Nahrungsmittel in den Eingeweiden gebildet wird und sich in den linken Hauptstamm des Saugadersystems, in den Milchbrustgang, ergießt, wird als *Milchsaft* oder Chylus von jenem Anteil der Lymphe unterschieden, welcher von den übrigen Organen als eine fettärmere, meist beinahe wasserklare Flüssigkeit geliefert wird.



Lymphgefäßstämme in Unterleib und Brust.
a) Haupt- oder linker Lymphgefäßstamm: Milchbrustgang, b) rechter Lymphgefäßstamm (beide an ihrer Einmündungsstelle in das Venensystem dargestellt).

Aus dem Blute tritt durch die Haargefäße in die Organe Nährflüssigkeit in überreichlicher Menge ein. Nur ein Teil davon wird von den Organen zum Ersatz verloren gegangener

Bestandteile oder zum Wachstum verwendet. Der unverbrauchte Rest der Nährflüssigkeit kehrt durch die in allen Organen sich findenden zahlreichen Lymphgefäßwurzelkapillaren, durch jene beiden Lymphgefäßstämme, zu dem Blute zurück, um neuerdings den Blutkreislauf mitzumachen. Das Saugadersystem erscheint sonach als ein Anhang, als ein Teil des Blutgefäßsystems dem Venensystem entsprechend, mit dem es einerseits in seinen Wurzeln durch Diffusion und zahlreiche temporäre, zum Teil vielleicht immer offene feinste Öffnungen, Stomata, in den Wandungen der Blutgefäßkapillaren, anderseits an den relativ weiten Einmündungsstellen der beiden Lymphgefäßstämme in die „ungenannten Venen" in Verbindung steht. Der Unterschied in der Farbe und dem Aussehen der beiden chemisch sehr ähnlich zusammengesetzten Nährflüssigkeiten unseres Körpers, des Blutes und der Lymphe, wird dadurch veranlaßt, daß der an die mikroskopisch kleinen „roten Blutkörperchen" gebundene rote Farbstoff des Blutes aus den Blutkapillaren nicht in die Lymphwurzeln eintritt, der Lymphe daher fehlt.

Indem zu allen Organen und Organteilen Nerven gelangen und sich hier verbreiten, wird der ganze Körper von Nerven durchzogen. Wäre es möglich, alles Körperliche außer den Nerven aus den Organen und aus dem Gesamtorganismus zu entfernen, und würden wir im stande sein, den Nervenfasern eine höhere elastische Festigkeit zu verleihen, so würde ein dichtes, aus Nervenfasern gewebtes Gerüst übrigbleiben, welches den Körperumriß und die Form aller inneren Organe noch erkennen lassen würde. Für die Blutgefäße gelingt dieses Experiment wenigstens teilweise. Erfüllen wir die Blutgefäße mit gefärbtem, flüssigem Wachs, welches rasch in den Formen auch der zartesten Adern erstarrt und sich dabei eine gewisse elastische Festigkeit bewahrt, so gelingt es, durch chemische Einwirkungen alle Organstoffe zu lösen und zu entfernen. Es bleibt dann nur der Wachsausguß der vielverzweigten Gefäßhöhlungen zurück, und wenn sich natürlicherweise auch das zarte Kapillarnetz auf diese Weise nicht erhalten läßt, so stellen doch schon die größeren Gefäße und ihre feineren Verzweigungen ein wunderbar fein gewebtes Gerüst dar, welches Form und Bau der Organe treu wiedergibt.

Unsere schematische Abbildung des Zentralnervensystems und die andere, welche die gröberen Verzweigungen der Arterien, der Schlagadern, im menschlichen Körper zur Darstellung bringt, geben uns von dem eben geschilderten Verhalten einen annähernden Begriff. Aber den wahrhaft ästhetisch schönen Anblick, welche wohlgelungene Blutgefäßpräparate der Art, sogenannte „Korrosionspräparate", und noch mehr mikroskopische Präparate gewähren, bei welchen die Füllung der Haargefäßnetze mit einer färbenden Masse gelungen ist, lassen Abbildungen kaum ahnen.

Die Eingeweide.

Bei dem Vergleich des menschlichen Organismus mit einer durch Wärme bewegten Maschine, z. B. einer Dampfmaschine, haben wir in dem Knochengerüst die sinnvollen, den Hebeln, Gelenken, Rollen und Rädern der Technik entsprechenden Maschineneinrichtungen erkannt, welche in Bewegung gesetzt werden durch die primär bei ihrer Verkürzung und Verlängerung in geradliniger Richtung, wie der auf und ab steigende Kolben der Dampfmaschine, wirkenden Muskeln und Muskelfasern.

Die Blutgefäße, welche den Muskeln wie allen anderen Körperorganen das zu ihrer Thätigkeit notwendige Kraft- und Stoffmaterial zuführen, lassen sich in gewissem Sinne mit der Leitungsröhre zwischen Dampfkessel und dem Cylinder, in welchem sich der Kolben bewegt, vergleichen; in dieser Röhre wird der gespannte Wasserdampf, der den Kolben zu heben hat, letzterem zugeleitet.

Da im Organismus aber jeder einzelne Muskel, ja sogar jede einzelne mikroskopische Muskelfaser für sich in demselben Sinne wie der Kolben der Dampfmaschine wirksam werden soll, so bedarf es auch einer der Zahl der arbeitenden Elementarorgane entsprechenden Zahl von Leitungsröhren, von Blutgefäßen. Das Verhältnis ist ähnlich, als wollten wir von einem einzigen Dampfkessel aus (in unserem Vergleich entspricht dem Dampfkessel das Herz) mehrere Dampfmaschinen, jede mit ihrem eignen Kolben, in Thätigkeit setzen.

Die Nerven haben wir als die Regulierungs- und Steuerungsapparate der belebten Maschine kennen gelernt; die Anzahl der Nerven zeigt sich ebenso wie die der Blutgefäße der Zahl der arbeitenden Einzelorgane angepaßt. Über dem ganzen Triebwerk des Nervensystems thront nach der populären Anschauung als Maschinenmeister der Wille, welcher vom Gehirn aus wirksam ist.

Um die weiteren Ähnlichkeiten zwischen der lebenden Maschine und der Dampfmaschine vollkommen aufzufassen, bedürfen wir noch einer Reihe unentbehrlicher wissenschaftlicher Anschauungen, die uns erst die weiteren Darstellungen geben können. Aber das ist von vornherein klar, daß die aufgenommenen Nahrungsstoffe nicht nur dem in den Dampfkessel gepumpten Wasser, sondern auch dem der Maschine zugeführten Brennmaterial entsprechen, auf dessen Verbrennung, Zersetzung unter Verbindung mit Sauerstoff, die Krafterzeugung der Maschine im letzten Grunde beruht.

Auch die mechanischen Lebensthätigkeiten des Organismus beruhen im letzten Grunde auf einer unter Sauerstoffaufnahme erfolgenden Stoffzersetzung der aus den Nahrungsstoffen sich aufbauenden Organe, einem Vorgange, welchen man seit seiner Entdeckung durch Lavoisier am Ende des vorigen Jahrhunderts als organischen Verbrennungsprozeß bezeichnet. Das Holz, mit welchem wir die Dampfmaschine heizen, zeigt fast die gleiche chemische Zusammensetzung wie das Mehl, das Hauptnahrungsmittel des Menschen, und ebenso wie sich bei der Verbrennung aus dem Kohlenstoff des Holzes unter Luftzufuhr, speziell unter dem Einflusse des Sauerstoffs der Luft die luftförmige Kohlensäure, wie sich aus dem Wasserstoff des Holzes tropfbarflüssiges Wasser und Wasserdampf bilden, so sehen wir auch bei dem durch die Atmung unterhaltenen organischen Verbrennungsprozeß in unserem Körper unter dem Einflusse des Luftsauerstoffs aus dem Kohlenstoff und Wasserstoff der in Organbestandteile umgewandelten Nahrungsmittel auf der einen Seite Kohlensäure, auf der anderen Wasser und Wasserdampf entstehen. Kohlensäure und Wasserdampf verlassen vorwiegend durch die Lungen, welche die Ventilationsvorrichtungen und Abzugsschlöte des Organismus darstellen, zum Teil aber auch durch die Haut und die Nieren den Körper. Auch die anderen Elementarstoffe werden, wie der Kohlenstoff und der Wasserstoff, aus ihrer organischen Verbindung meist vollkommen gelöst und an Sauerstoff gebunden, sie werden fast ausschließlich durch die Nieren und die Haut aus dem Körper ausgeschieden.

Die animale Maschine wird durch Stoffe, die Nahrungsmittel, geheizt, welche, unter dem Dampfkessel verbrannt, die Dampfmaschine ebenso in Gang setzen und zur mechanischen Arbeitsleistung befähigen würden, wie sie dasselbe für unseren Organismus leisten.

Zu den Organen, welche der Verarbeitung und Aneignung der Nahrungsstoffe dienen, zu den Verdauungsorganen im weitesten Sinne, haben wir auch die Lungen zu zählen, da diese den Sauerstoff, eine der lebenswichtigsten Substanzen, dem Organismus zuführen. Ebenso rechnen wir dahin die speziell der Blutbereitung dienenden Organe, wie die Milz und andere.

Die Verdauungsorgane liegen mit den Zentralorganen der Blut- und Lymphbewegung, den Ausscheidungsorganen (Harnabsonderungsorganen) und, wenigstens primär, auch mit den Reproduktionsorganen in der Brust-Bauchhöhle eingeschlossen. Die Wände der Brust-Bauchhöhle, teilweise unter Anteilnahme von Knochen (Brustkorb, Beckenhöhle), teilweise ohne diese nur aus Haut, Fleisch und Sehnengewebe gebildet, umhüllen alle diese Organe, welche wir in ihrer Gesamtheit als Eingeweide bezeichnen.

Denken wir uns die Brust- und Bauchwand von der vorderen Oberfläche des Körpers weggenommen, so sehen wir einen weiten, von den Eingeweiden ausgefüllten Hohlraum, die Brust-Bauchhöhle (s. Abbildung, Seite 41), vor uns. Sie wird durch eine kuppelförmig nach oben gewendete Querscheidewand (c), durch das aus Fleisch und Sehnengewebe gebildete Zwerchfell, in einen oberen Abschnitt, die Brusthöhle, und in einen unteren Abschnitt, die Bauchhöhle, getrennt. Jene Organe, welche, wie die Speiseröhre und ein Teil der Blutgefäße, durch die beiden Höhlen hindurchlaufen, treten zu diesem Behuf durch Öffnungen im Zwerchfell, an deren Ränder sie durch häutige Bildungen allseitig luftdicht angefügt sind.

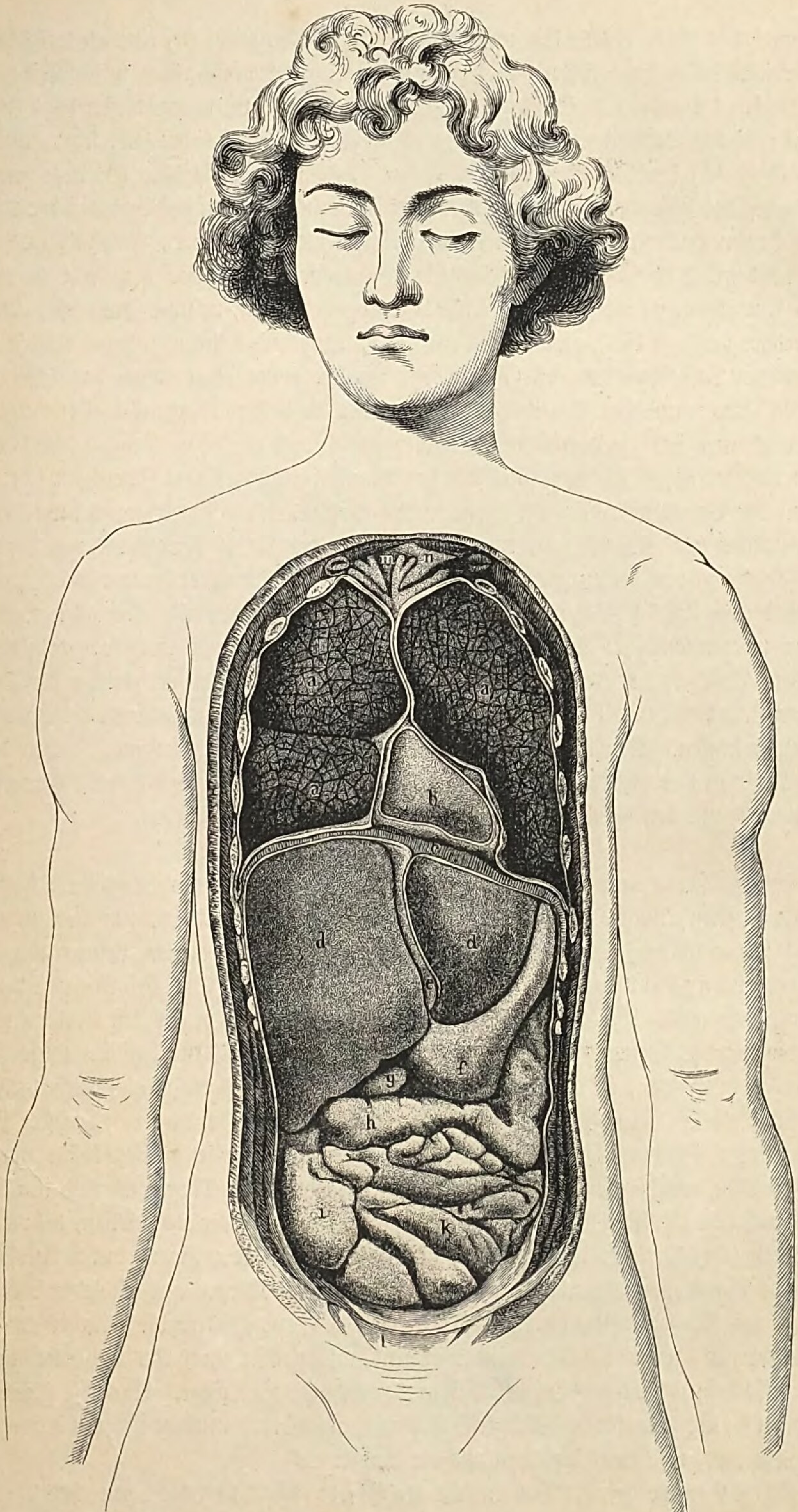
Die innere Oberfläche der Brust-Bauchhöhle ist von einer geringe Mengen von Flüssigkeit absondernden Haut austapeziert, welche sich auch auf die Oberfläche der Eingeweide herüberschlägt und diese der Mehrzahl nach mit einem Hautüberzug versieht. In der Brusthöhle nennen wir diese Haut Brustfell, Pleura, in der Bauchhöhle Bauchfell, Peritonaeum. Das Bauchfell überzieht nicht nur die Mehrzahl der Baucheingeweide vollkommen, sondern breitet sich auch schürzenartig, als großes Netz über sie aus. Wir geben eine doppelte Ansicht der Brust-Bauchhöhle mit ihrem Inhalt; die eine zeigt die großen Körperhöhlen von vorn, die andere von hinten her geöffnet; für diese beiden Ansichten wie für die beiden folgenden haben wir die vortrefflichen Abbildungen N. Rüdingers benutzt.

Die Abbildung der Vorderansicht der geöffneten Brust-Bauchhöhle (S. 41) zeigt uns in der Mitte der Brusthöhle das in seinem geöffneten Herzbeutel liegende Herz (b), mit der Spitze nach der linken Körperseite gewendet; und zwar ist vom Herzen selbst lediglich die rechte Herzkammer zu sehen. Rechts und links wird der ganze übrigbleibende Brustraum, der von dem als weißer Innenrand dargestellten Brustfell ausgekleidet wird, durch die beiden in der Abbildung normal ausgedehnten Lungenflügel (a) eingenommen. In der Mittellinie über dem Herzen erkennen wir nur noch einige größere Blutgefäße (m, n) über der Schilddrüse. Die Speiseröhre ist vollkommen verdeckt, ebenso die Luftröhre, welche sich in der Tiefe in zwei Äste gabelt, von denen der eine nach rechts, der andere nach links gewendet je in einen Lungenflügel eintritt, um sich hier weiter zu verästeln. Der Raum unter dem Zwerchfell (c), die Bauchhöhle, wird in seiner unteren Hälfte von den Windungen des Verdauungskanales, von dem Magen (f) und den Gedärmen (h—k), eingenommen. Rechts[1] unter dem Zwerchfell tritt die mächtige Leber (d) hervor und deckt sich über den Magen, dagegen ist die kleinere Milz, auf der linken Körperseite gelegen, nicht sichtbar, ebensowenig die Harnblase, welche in dem vorderen Mittelraum des Beckens liegt. Das Aufhängeband der Leber (e) teilt die letztere in zwei ungleich große Abschnitte; unter dem Leberrande tritt die Gallenblase (g) hervor. Unter dem Magen läuft der quer verlaufende Abschnitt des Dickdarmes (h) hin, welcher sich rechts aus dem weiteren Blinddarm (i) erhebt. Neben dem Blinddarm füllen Dünndarmschlingen (k) den vorderen Bauchraum aus.

Bei einer Betrachtung der vom Rücken her geöffneten großen Körperhöhle (s. Abbildung, S. 43) bemerken wir eine Anzahl von Organen und Organabschnitten, welche uns die Vorderansicht nicht zeigen konnte, da sie, der Rückwand des Hohlraumes angelagert, von den in der Vorderansicht sich darstellenden Organen verdeckt werden. Die Rückansicht wird der Vorderansicht gegenüber noch bereichert dadurch, daß auch die Rückwand der Schädelhöhle, des Halses und des Beckens durch Entfernung der Wirbelsäule und der angrenzenden Wandpartien geöffnet ist. In der Schädelhöhle sehen wir das auf der linken Seite noch von der harten Hirnhaut gedeckte, rechts frei liegende Gehirn, an dem wir oben das große (1), unten das kleine Gehirn (2)

---

[1] Rechts und links in unserer Beschreibung bezieht sich stets auf die rechte und linke Seite der abgebildeten menschlichen Figur.




Vorderansicht der Brust- und Baucheingeweide. Vgl. Text, S. 40.

unterscheiden. Die Mitte des Halses nimmt der breite Schlundkopf (3) ein, an welchem wir den Verlauf der willkürlich beweglichen Muskelfasern der Schlundkopfschnürer unterscheiden. Rechts und links laufen die großen Halsschlagadern (12a) und nach außen von diesen die Venen (13a). Nach unten geht der Schlundkopf in ein engeres Rohr, die Speiseröhre (8), über, welches zum Zwerchfell (14, 15) herabläuft. Auf der linken Seite der Speiseröhre (8) liegt zunächst der Milchbrustgang des Lymphgefäßsystems (9), etwas weiter nach außen der Brustteil der Aorta (12), deren vom Herzen herkommender Bogen, von welchem die Schlagadern für Hals und Arm entspringen, sich deutlich darstellt; sie tritt durch das Zwerchfell. Im Becken zerfällt die Aorta (18, Bauchaorta), nachdem sie bis dahin zahlreiche Äste abgegeben hat, in zwei Hauptäste. Links neben der Speiseröhre verläuft die „unpaarige Vene" (11, 11a) und krümmt sich zur oberen Hohlvene über den rechten Luftröhrenhauptast (7) hinweg, welcher rechts oben neben der Speiseröhre erscheint. Den Hauptraum der Brusthöhle füllen wieder die beiden Lungenflügel (6) aus. An der Brustwand erkennen wir die durchschnittenen Rippen (4) und weiter nach außen den Durchschnitt des Schulterblattes (5). In der Mittellinie der Bauchhöhle unter dem Zwerchfell (14, 15) liegt rechts neben der Bauchaorta (18) die große untere Hohlvene (19), welche aus dem Becken, aus zwei großen Ästen (21) sich bildend, emporsteigt. Von der Aorta sowohl als von der Hohlvene sehen wir Zweige zu den beiden Nieren (17) abgegeben. Die Nieren erscheinen als bohnenförmige Körper rechts und links seitlich unter dem Zwerchfell. Jede Niere gibt eine oben weitere, nach unten enger werdende Röhre ab, den Harnleiter (17a), welche zur Harnblase herabsteigt und in diese mündet. Unter den Nieren wölbt sich der Bauchfellsack (16) hervor, welcher den Dünndarm und Dickdarm umhüllt, und über welchen die zu den keimbereitenden Organen gelangenden Blutgefäße (20) hinlaufen. Von dem Darme selbst wird nur im Beckenausgang, neben den durchschnittenen Knochen und Muskeln desselben (24—27) die vom Bauchfell befreite Hinterwand des Mastdarms (23) mit den darüber hinlaufenden Blutgefäßen (22) sichtbar.

Alle jene größeren und kleineren Organe, welche durch ihre physiologische Thätigkeit jene Flüssigkeiten bereiten, welche in den Verdauungskanal ergossen werden, um hier zur chemischen Lösung und Umwandlung der aufgenommenen Nahrungsstoffe zu dienen, nennen wir Drüsen, speziell Verdauungsdrüsen. In der Mundhöhle münden die Speicheldrüsen in den Anfang des Verdauungskanals. In der Bauchhöhle befinden sich die beiden größten Verdauungsdrüsen, die Leber, welche ihr Sekret, ihre Absonderungsflüssigkeit, die Galle, in den Anfangsteil des Darmes nahe am Magen, in den Zwölffingerdarm, ergießt, und die Bauchspeicheldrüse, welche an derselben Stelle die Bauchspeichelflüssigkeit, welche für die Verdauung von höchster Bedeutung ist, eintreten läßt. In der Magen- und Darmwand liegen eingebettet zahllose kleine, meist mikroskopische Drüschen, welche ebenfalls Verdauungssäfte liefern: den Magensaft und den Darmsaft.

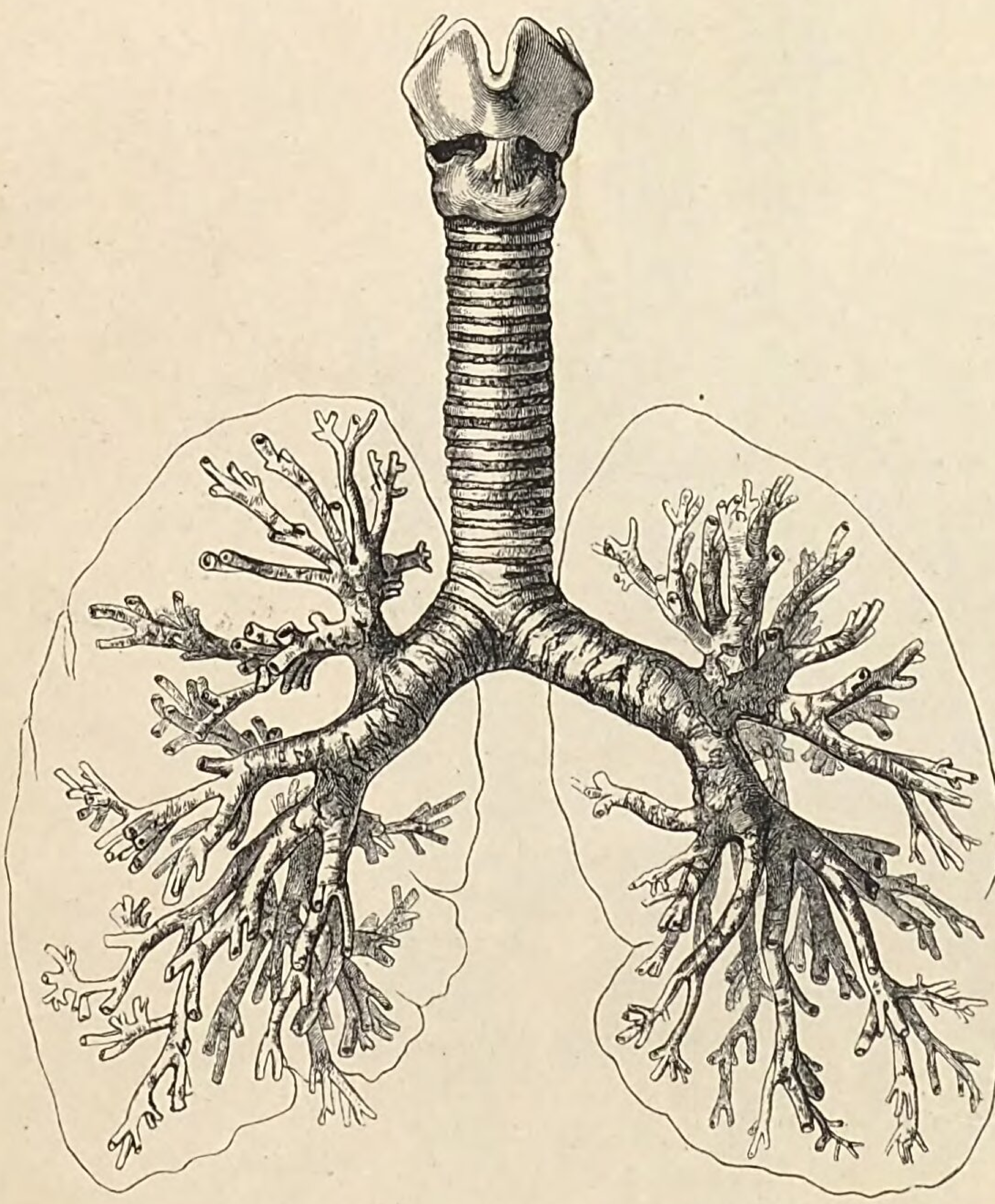
Aber auch jene Flüssigkeit absondernden Organe bezeichnen wir als Drüsen, bei welchen, wie bei den Nieren, das Produkt ihrer physiologischen Thätigkeit (der Harn) durch Ausscheidungsvorrichtungen (Harnleiter, Harnblase, Harnröhre) aus dem Körper ausgeschieden wird. Unter diese Gruppe von Drüsen, unter die Ausscheidungsdrüsen, gehören die Hautdrüsen: Schweißdrüsen, Talgdrüsen, ferner die Thränendrüsen und, als größte ihrer Art und auch noch weiter durch ihr luftförmiges Ausscheidungsprodukt ausgezeichnet, die Lunge. Auch die Schweißdrüsen scheiden, wenn sie nicht tropfbare Flüssigkeit, Schweiß, absondern, in einer wahren Atmung, Hautatmung, Gase aus, und zwar dieselben wie die Lunge.

Eine dritte Gruppe von Drüsen umfaßt die Blutdrüsen und die Lymphdrüsen, welche kein frei werdendes Sekret liefern, dafür aber die durch sie hindurchtretenden Flüssigkeiten, Blut oder Lymphe, in bestimmter Weise chemisch und physiologisch beeinflussen. Als Repräsentant der



Rückenansicht der Brust- und Baucheingeweide. Vgl. Text, S. 40 und 42.

Blutdrüsen lernen wir die Milz kennen, während Lymphdrüsen als zahllose kleine Drüsenknötchen teils in der Darmwand selbst, teils in dem Gekröse liegen. Das Gekröse ist jener Teil des Bauchfelles, welcher von der Rückwand der Bauchhöhle her sich auf die Gedärme herüberlegt und diese in ihrer gegenseitigen Lage und an der Bauchwand befestigt. Auch sonst finden sich Lymphdrüsen vielfach im Körper verbreitet. An zahlreichen Stellen unter der äußeren Körperhaut liegen sie zu kleineren oder größeren Paketen vereinigt und bilden jene „Drüsen“, welche durch ihre nicht selten eintretende krankhafte Anschwellung, z. B. bei der Skrofelkrankheit vornehmlich an den Wangen und am Halse, allgemein bekannt sind.



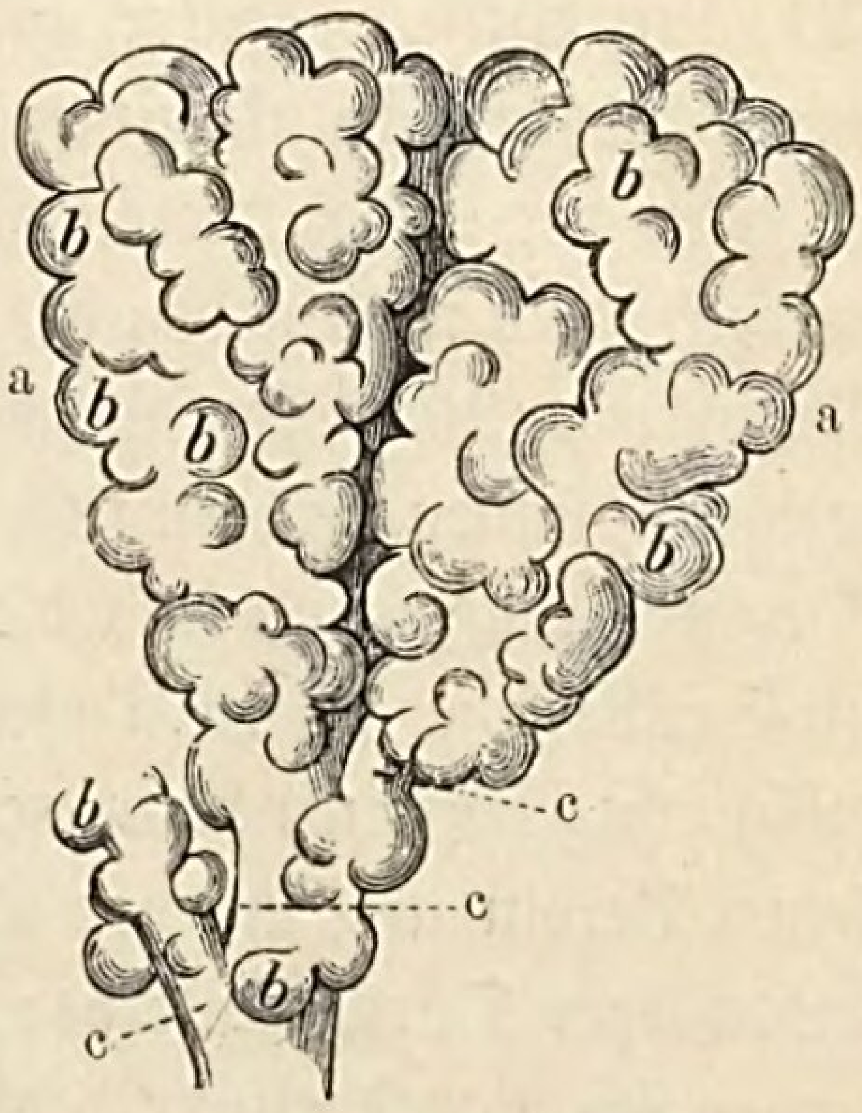
Der Lungenbaum. Die Verzweigungen der Luftröhre in den Lungen.

Der Form nach erscheinen die einfachsten Drüsen, wie die Magen- und Darmdrüsen, als röhrenförmige, unverästelte, Flüssigkeit absondernde Schläuche mit einem oder als rundliche Hohlräume mit mehrfachem Zugang, wie die Lymphdrüsen. Indem sich die einfachen Drüsenschläuche verästeln, bilden sie mehr und mehr zusammengesetzte Drüsen, welche durch zahlreiche Zwischenstufen zu jenen mächtigen Bildungen hinüberführen, unter denen die **Lunge** die erste Stelle einnimmt. Die Luftröhre bildet den starrwandigen Endausführungsgang der Lungendrüse (s. vorstehende Abbildung). Durch Teilung zerfällt die Luftröhre zunächst in zwei starke Hohläste, die **Bronchien**, von denen je einer in einen Lungenflügel eintritt. Hier teilt sich jeder primäre Luftröhrenast zunächst wieder gabelförmig in zwei engere Äste, welche selbst wieder wie auch die aus ihnen hervorgehenden, feiner und feiner werdenden hohlen Zweige in je zwei Röhren auseinander gehen. So bildet sich schließlich ein feinstes Astwerk von Röhrchen, deren Weite so gering wird, daß sie als kapillare Bronchien bezeichnet werden. Jedes dieser haarfeinen Luftröhrenästchen erweitert sich an seinem letzten Ende zu einem zarthäutigen Bläschen, dem **Lungenbläschen**. Tausende und aber Tausende solcher Lungenbläschen formen jeden Lungenflügel.

Die Lungenbläschen (a) hängen wie kleine, hohle, birnförmig gestaltete, noch mehrfache Ausbuchtungen (b) zeigende Früchtchen an den feinsten Zweigen (c) der Luftröhre (s. Abbildung, S. 45). Dadurch bekommt der ganze Bau der Lunge im Schema eine unverkennbare

Ähnlichkeit mit einer Weintraube. Die Lungenbläschen entsprechen den Traubenbeeren, die Luftröhrenverzweigungen den ebenfalls von einem Hauptstiel abgehenden Ästen und Zweigen der Traube. Nur sind in der Lunge alle Stiele und ebenso die Beeren selbst hohl. Die Anatomie bezeichnet derartige Drüsenbildungen, wie sie uns in höchster Vollkommenheit im Lungenbau entgegentreten, als traubenförmige Drüsen.

Die Speicheldrüsen, die Bauchspeicheldrüse, die Thränendrüsen, eine Anzahl größerer Darmdrüsen und andere sind nach dem Schema der Lunge gebaut und werden wie diese als traubenförmige Drüsen beschrieben. Auch sie besitzen einen sich vielfach verästelnden hohlen Ausführungsgang, und an den feinsten Hohlzweigen desselben sitzen die ebenfalls hohlen Drüsenbläschen an. Ein wesentlicher Unterschied besteht aber darin, daß die Lungenausscheidung aus Luft besteht, während die eben genannten Drüsen wässerige Flüssigkeiten absondern. Wir werden finden, daß sich auch die Leber in gewissem Sinne in ihrem Bau den traubenförmigen Drüsen anreihen läßt, während die Milz mit anderen Blutdrüsen sich mehr an die größeren und komplizierteren Lymphdrüsen anschließt, die wesentlich als zusammengehäufte und untereinander verbundene einfache Lymphdrüsen erscheinen. Bleiben die feinsten Hohlzweige der Drüsen bis zum Ende annähernd cylindrisch, so werden die letzteren als schlauchförmige Drüsen bezeichnet.



Lungenbläschen, vergrößert.
a) Lungenbläschen, b) kugelige Ausbuchtungen derselben, c) kapillare Luftröhrenästchen.

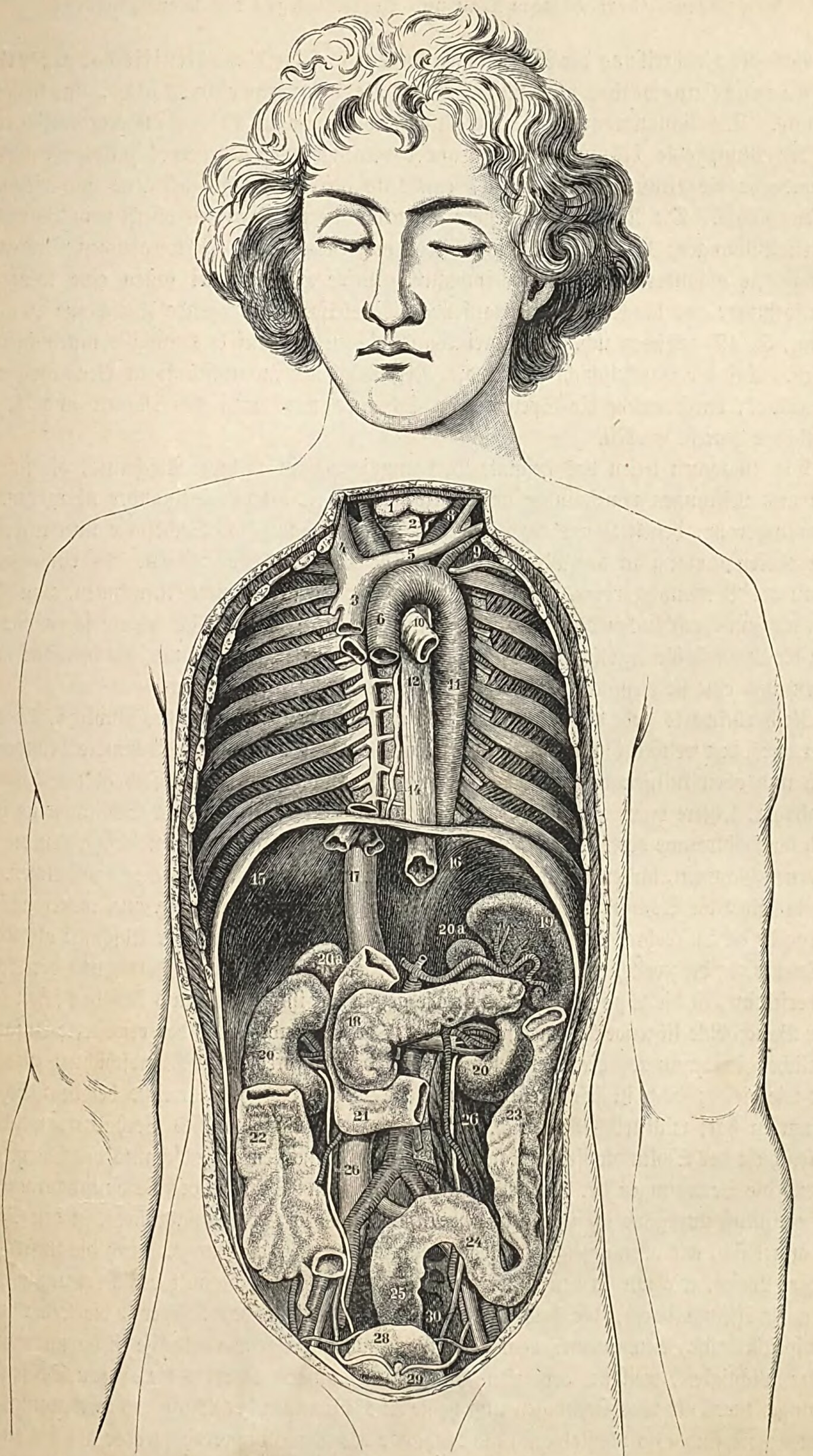
Die in der Bauchhöhle liegenden großen Drüsen können wir in ihrer Lagerung und Gestalt erst dann vollkommen überblicken, wenn die Gedärme herausgenommen sind. Die hier (S. 47) beigegebene Abbildung eines derartigen, von der Vorderseite des Körpers dargestellten Präparates, an welchem nur einzelne Abschnitte des Verdauungsrohres erhalten sind, ist nach dem Gesagten ohne weiteres in ihren Hauptzügen verständlich.

In der sonst leeren Brusthöhle, an deren Rückfläche die Rippen mit den zwischen ihnen verlaufenden Muskeln, den Zwischenrippenmuskeln, zwischen welche wir Blutgefäße eintreten sehen, deutlich sichtbar sind, verläuft in der Mitte von oben nach unten eine Anzahl von weiteren und engeren Röhrengebilden. Am mächtigsten tritt die große Hauptschlagader des Körpers, die Aorta, hervor, welche, an ihrem Ursprunge aus dem Herzen abgetrennt, sich in einem starken, nach Hals und Kopf Äste (8, 9) abgebenden Bogen (6) nach links herüberkrümmt, um dann gestreckt (11) zum Zwerchfell (15, 16) zu verlaufen, dieses zu durchbohren und, in die Beckenhöhle als Bauchaorta eingetreten, in ihre beiden Hauptendäste zu zerfallen. Rechts neben der Aorta sehen wir in der Brusthöhle die obere Hohlvene (3) sich aus ihren Hauptzweigen (4, 5) zusammensetzen. Zwischen den von dem Aortenbogen abgegebenen, dem Halse zustrebenden Schlagadern bemerken wir die Luftröhre (2), über welcher die Schilddrüse (1) zu erkennen ist. Die Luftröhre ist in ihrem weiteren Verlaufe von dem Aortenbogen (6) gedeckt, die beiden Hauptäste der Luftröhre (10) werden aber sichtbar; der eine zeigt sich rechts von dem Anfange des Aortenbogens, der andere (links davon, mit 10 bezeichnet) wird von dem Aortenbogen umgriffen. Etwas tiefer, auf der rechten Seite der durch die Brusthöhle herabsteigenden Aorta (11), direkt in der Mittellinie der Brust, bemerken wir die gestreckt verlaufende darmähnliche Speiseröhre (12), welche das Zwerchfell durchbohrt und unter diesem an der Stelle (bei 16) abgetrennt erscheint, an welcher sie sich zum Magen erweitern würde. Rechts neben der Speiseröhre in der Brust läuft ein viel feineres

Hohlgefäß, der Milchbrustgang des Lymphgefäßsystems (14), und noch weiter nach außen und rechts die uns ebenfalls schon bekannte, eine Verbindung zwischen oberer und unterer Hohlvene darstellende „unpaarige Vene", welche Ästchen aus der Rippenmuskulatur aufnimmt.

Aus dem Bauchraum ist außer den Gedärmen auch die Leber herausgenommen, dadurch erhalten wir die volle Ansicht der Unterfläche des kuppelförmig in den Brustraum vorgewölbten Zwerchfells (15, 16). Unter der „unpaarigen Vene" liegt die untere Hohlvene (17) mit zwei starken durchschnittenen Ästen, welche aus der Leber stammen. Links bemerken wir die Milz (19) mit einer in sie eintretenden großen Schlagader. Quer in der Mitte liegt die Bauchspeicheldrüse (18). Ihr nach rechts gewendetes dickeres Ende, Kopf, wird hufeisenförmig von dem direkt aus dem Magen hervortretenden, in der Abbildung oben und unten abgeschnittenen Zwölffingerdarm (21) umgriffen. Weiter außen nach rechts lagert die beinahe vollkommen frei liegende rechte Niere (20), welche als einen helmartigen, flachen Aufsatz oben die Nebenniere (20a) trägt. Der Oberteil der linken Niere (20) ist teilweise von dem verschmälerten Ende der Bauchspeicheldrüse verdeckt, doch wird neben der Milz (19) nach innen ihr Oberrand und die diesem aufsitzende linke Nebenniere (20a) ebenfalls deutlich. In die Nieren sehen wir Blutgefäße ein- und austreten; die weißen, dünnen Röhren (26, die Nummer selbst steht auf der unteren Hohlvene), welche von den Nieren herabsteigen, sind die schon beschriebenen Harnleiter, welche an die Rückseite der Harnblase (28), die als halbkugelig sich vorwölbendes Organ in der Mitte des Unterrandes unserer Abbildung erscheint, herantreten. Der untere Teil der rechten Niere wird zum Teil von dem aus seiner Verbindung mit den übrigen Gedärmen getrennten Blinddarm (22) gedeckt. Unten rechts, neben dem Durchschnitt der Einmündungsstelle des Dünndarms in den Blinddarm, hängt der „wurmförmige Fortsatz" des letzteren herab. Auf der linken Bauchseite ist das Endstück des Dickdarmes (23, 24) erhalten, welches mit einer starken „S-förmigen Krümmung" (24) hinter die Harnblase sich begibt, um als Mastdarm (25) am unteren Körperpol sich zu öffnen. Von den Schenkeln her sehen wir jederseits noch ein feines Röhrchen, die Samenleiter (30), hinter die Blase treten, um zum Anfange der Harnröhre zu gelangen, in welche sie münden. Am Oberteil der Blase sind die Blasenfalten (29), die verwachsenen Nabelgefäße, dargestellt.

Die Abbildung in der Rückenansicht (S. 49), welche die Lage der Eingeweide nach Entfernung der hinteren Rumpfwand und der dieser direkt anliegenden Organe, Nieren und andere, darstellt, zeigt uns die hintere Schlundkopfwand am Halse geöffnet, so daß wir von hinten her durch den thorartig sich wölbenden Gaumen, an dessen Oberrand in der Mitte das Zäpfchen (1) herabragt, in die Mundhöhle hereinblicken. Im Schlunde tritt die Mündung einer zweiten Röhre, der Eingang in die Luftröhre (2), sehr deutlich hervor. Der Schlundkopf setzt sich in die Speiseröhre (3) fort, welche in den unter dem Zwerchfell liegenden Magen (15) eintritt. Links neben der Speiseröhre verläuft die Aorta (5), von welcher wir einen Ast zum Halse (6), einen zweiten zum linken Arme abgehen sehen. Neben der Halsschlagader liegt die Halsvene (7). Unter dem rechten Luftröhrenhauptast (8) erscheint ein Teil der Herzrückwand (9) und darunter die untere Hohlvene (10). An der Rückenfläche der Lungenflügel (11) ist der Verlauf der größeren Luftröhrenäste teilweise dargestellt. Unter dem Zwerchfell (13) tritt rechts der hintere Leberrand (12), links fast die ganze Milz (14) hervor. Die Speiseröhre (3) sehen wir zum Magen sich erweitern. Auf der Hinterfläche des Magens (15) liegt quer herüber die Bauchspeicheldrüse (17) so weit präpariert, daß ihr Hauptausführungsgang anschaulich wird, welcher sie die Mitte entlang durchzieht, um in den Zwölffingerdarm zu münden, welch letzteren unsere Abbildung, um dieses Verhältnis zu zeigen, teilweise aufgeschnitten (16) darstellt. Quer über die Bauchspeicheldrüse läuft ein dicker venöser Gefäßstamm, die Pfortader (18), welche das Venenblut aus den Gedärmen (19 bis 21) der Leber (12) zuführt.

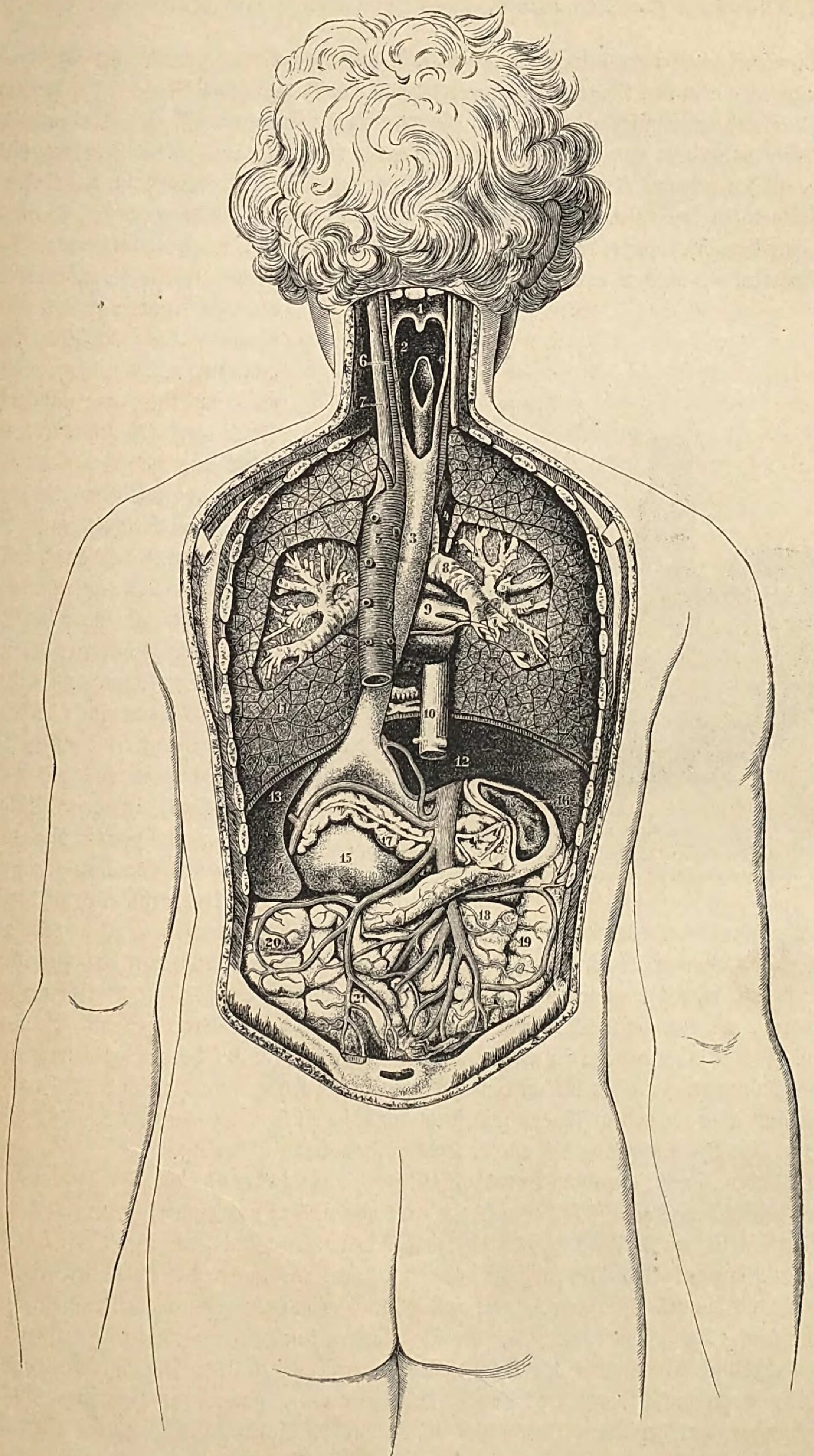


Vorderansicht der Brust- und Baucheingeweide nach Entfernung eines Teiles derselben. Vgl. Text, S. 45 u. 46.

Nach der Beschreibung der Abbildungen fordern noch die Verhältnisse der eigentlichen Verdauungseingeweide, namentlich jene des Verdauungsrohres selbst, eine nähere Betrachtung. Die Bauanordnung des Verdauungsrohres ist im Prinzip außerordentlich einfach. Von der Mundhöhle bis zur Öffnung am entgegengesetzten Körperpol durchzieht das Verdauungsrohr die Brust-Bauchhöhle als eine teils gestreckte, teils gebogene und vielfach gewundene Röhre. Die Röhrenwand besteht äußerlich aus häutigen, zu oberst vom Bauchfell gelieferten Bildungen; die innere Schicht bildet die feuchte, aus mikroskopischen Drüsen Verdauungssäfte absondernde „Darmschleimhaut". Beide Hautschichten fassen eine wenig dicke, röhrenförmige, aus längs- und querlaufenden Muskelfasern bestehende Fleischlage (a auf Abbildung, S. 49) zwischen sich. Alle drei Wandschichten sind auf das innigste miteinander verwachsen. Auf der Muskelschicht beruht die Möglichkeit der „wurmförmigen Bewegungen" des Darmrohres, durch welche die Speisen vom Schlunde aus durch den Magen und die ganze Darmlänge gepreßt werden.

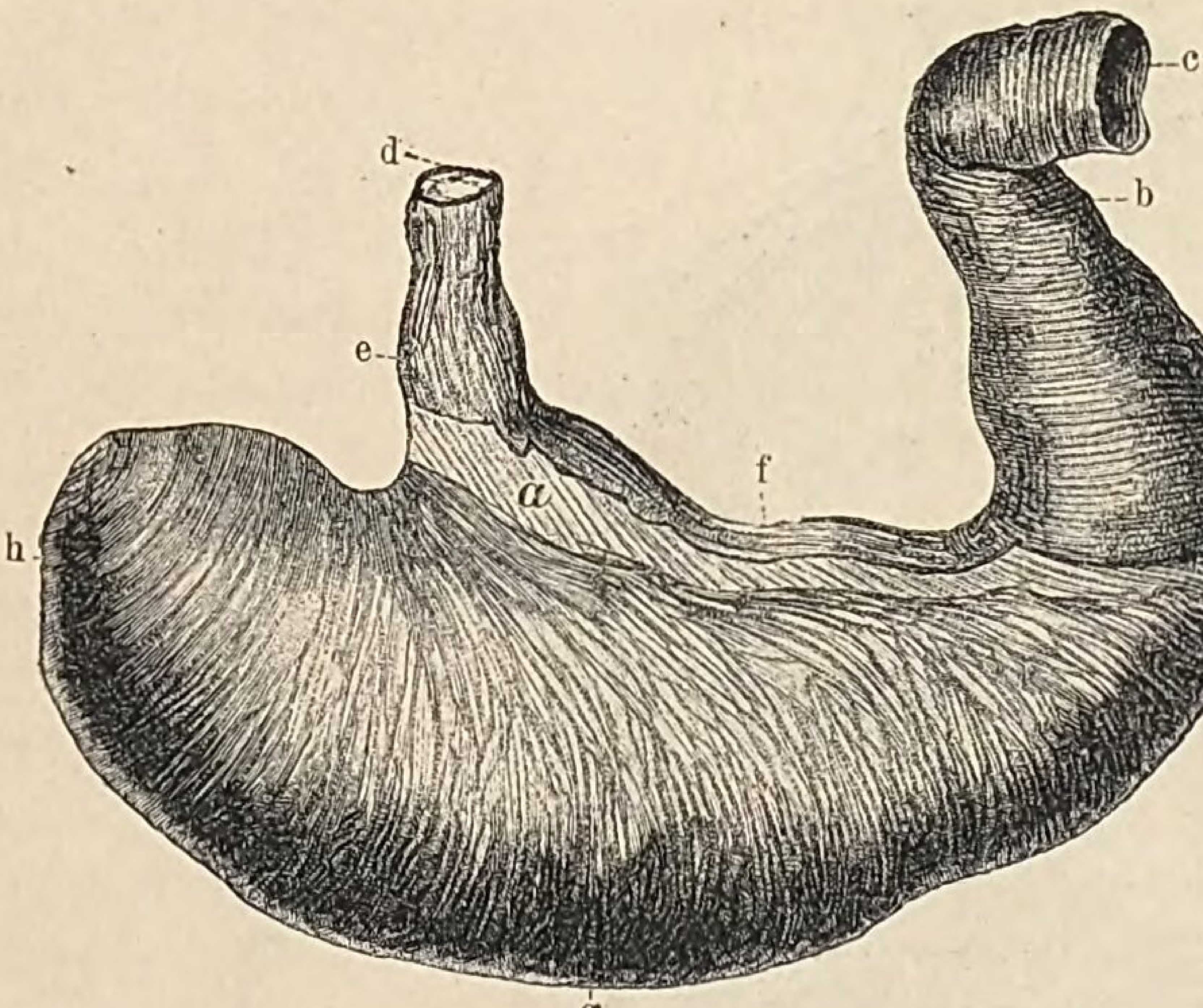
Die Anatomen teilen das gesamte Verdauungsrohr in mehrere Abschnitte, die sich durch Form und Leistungen voneinander unterscheiden, aber alle direkt ineinander übergehen. Das Verdauungsrohr, dessen Länge die Körperhöhe um das Fünf- bis Sechsfache übertrifft, besitzt seinen oberen Zugang in der Mundöffnung. Die Mundhöhle erscheint als ein erweiterter Vorbau des Verdauungsrohres, mit den mechanischen Apparaten zum Aufnehmen, zum Zerkleinern und zum Verschlucken der Nahrungsbestandteile ausgerüstet, welch letztere schon hier durch die in die Mundhöhle ergossenen Flüssigkeiten der Speicheldrüsen nicht nur durchfeuchtet werden, sondern auch eine sie chemisch verändernde, verdauende Wirkung erfahren.

Nach rückwärts geht die Mundhöhle in die Schlundhöhle, den Schlundkopf, über, von diesem durch den weichen Gaumen abgegrenzt, welcher mit dem Zäpfchen die hintere Mundöffnung seitlich und oben kulissenartig verengert. In die Schlundhöhle mündet sowohl die Mund- als Nasenhöhle, letztere durch die als Choanen bekannten Öffnungen. In der Schlundhöhle hängen sonach die Hohlräume des Mundes und der Nase, welche in ihren vorderen Abschnitten durch den knöchernen Gaumen, hinten durch den weichen Gaumen getrennt werden, direkt zusammen. Nach abwärts bildet die Schlundhöhle den Eingang in zwei Röhrengebilde: die eine, weiter nach vorn gelegene ist die Luftröhre, deren oberer, in die Schlundhöhle sich öffnender Abschnitt als Kehlkopf bezeichnet wird; die zweite, nach rückwärts gelegene, welche als die direkte Fortsetzung der Schlundhöhle erscheint, ist die Speiseröhre, die, wie gesagt, in ihrem Bau und Ansehen schon an das in der Bauchhöhle liegende Darmrohr erinnert. Der Schlundkopf ist der erweiterte Anfang des eigentlichen Verdauungsrohres, er zeigt sich aus den entsprechenden Wandschichten zusammengesetzt wie dieses; doch ist seine reicher entwickelte Muskelfaserschicht, welche bei dem Schluckakt mitzuwirken hat, willkürlich beweglich. Es ist das ein physiologisches Verhalten, welches die Muskelschicht des Schlundkopfes nur noch mit der des äußersten Endabschnitts des Darmes teilt, während die Bewegungen der Muskelschichten der übrigen Abschnitte des Verdauungsrohres dem Willenseinfluß unzugänglich sind. In den Anfangsteil des Verdauungsrohres, in den Schlundkopf, öffnet sich, wie oben gezeigt, die lebenswichtigste Drüse, die Lunge, durch die Luftröhre, in analoger Weise, wie wir in den unter dem Magen gelegenen Abschnitt des Verdauungsrohres, in den Zwölffingerdarm, die beiden andern größten Drüsen des Körpers, die Leber und die Bauchspeicheldrüse, einmünden sehen. Das Verständnis dieser Verhältnisse ist darum von prinzipieller Wichtigkeit, weil bei der ersten Entwickelung unseres Körpers die großen Drüsen, auch die Lunge, zuerst als Ausbuchtungen und hohle Ausstülpungen der Wand des Verdauungsrohres auftreten; sie sind also physiologisch als Anhänge des Verdauungsrohres oder als bis zu einem gewissen Grade selbständig gewordene Abschnitte desselben aufzufassen.



Rückenansicht der Brust- und Baucheingeweide nach Entfernung eines Teiles derselben. Vgl. Text, S. 46.

Die Speiseröhre d verläuft als eine gestreckte Röhre zum Zwerchfell, durchbohrt dieses und tritt am Magenende e in den Magen ein (s. untenstehende Abbildung). Der Magen ist entwickelungsgeschichtlich und anatomisch nichts anderes als eine blasige Erweiterung des Verdauungsrohres, welche quer unter dem Zwerchfell liegt, zwischen Leber und Milz, und an der Leberseite direkt in den eigentlichen engeren Darm übergeht. Die Mündungsstelle des Magens in den Darm wird als Pförtner (b) bezeichnet. Der dem Magen zunächst gelegene Anfangsteil des Darmes (c), welcher zuerst nach abwärts, dann quer unter dem Magen hinläuft, trägt den sonderbaren Namen Zwölffingerdarm, welcher von seiner mit der zwölffachen Querfingerbreite verglichenen Länge herrührt. In den absteigenden Anfangsteil des Zwölffingerdarmes münden, wie wir schon oben hörten, an einer gemeinschaftlichen Stelle die Ausführungsröhren der Leber und der Bauchspeicheldrüse. Auf den Zwölffingerdarm folgt nun in zahlreichen und langen Windungen, welche durch das oben erwähnte Gekröse zusammengehalten und an der Bauchhöhlenrückwand befestigt werden, der Dünndarm. Der Dünndarm geht endlich, und zwar auf der rechten Körperseite, in eine zweite kleinere blasige Erweiterung des Verdauungsrohres, in den Blinddarm über, in den zweiten Magen, wie ihn die alte Anatomie genannt hat. Am Blinddarm stülpt sich die Wand des Verdauungsrohres zu einem engen, hohlen, darmähnlichen Fortsatz aus, zu dem wurmförmigen Fortsatz oder Wurmfortsatz. Von dem Blinddarm an bleibt nun das Verdauungsrohr weit und wird bis zu seinem als Mastdarm bezeichneten Endstück als Dickdarm von dem Dünndarm, wie das ganze Darmstück zwischen Magen und Blinddarm genannt wird, unterschieden. Der Dickdarm steigt in gerader Linie vom Blinddarm auf der rechten Körperseite und über den Dünndarmschlingen bis unter den Magen in die Höhe, biegt hier im Winkel nach links ab, verläuft quer unter dem Magen und steigt dann in einer S-förmigen Krümmung nach abwärts, um im Beckenausgang sich an der Körperoberfläche zu öffnen.



Der Magen des Menschen.
a) Muskelschichten des Magens, b) Pförtner, c) Anfangsteil des Darmes, d) Speiseröhre, e) Magenmund, f) kleine und g) große Kurvatur, h) Magengrund.

Das oben, S. 40, erwähnte **Brustfell** (Pleura) bildet in der Brusthöhle zwei paarige, vollkommen geschlossene Doppelsäcke, in welche je ein Lungenflügel von hinten, innen und der Mitte her gleichsam in der Weise eingestülpt ist, daß das äußere Blatt jedes Brustfellsackes als sogenanntes **Rippenfell** die Innenfläche der Brustwand, das innere Blatt als **Lungenfell** die Oberfläche des Lungenflügels überkleidet; an der „Lungenwurzel" gehen beide Brustfellblätter ineinander über. Die zwischen den beiden Brustfellblättern befindliche, normal sehr geringe Menge von lymphähnlicher Flüssigkeit erleichtert die Lungenbewegung bei der Atmung. In einen ganz ähnlichen Doppelhautsack, den **Herzbeutel** (Pericordium), ist auch das Herz eingestülpt. In gewissermaßen ähnlicher Weise findet auch in der Bauchhöhle eine Art Einstülpung der Baucheingeweide in das **Bauchfell** (Peritoneum) statt, welches einerseits als geschlossener Sack die

innere Oberfläche der Bauchwandungen auskleidet, anderseits die einzelnen Verdauungsorgane mehr oder weniger vollkommen überzieht. Die Falten des Bauchfells, welche die Bauchorgane umkleiden und sie in der Bauchhöhle und untereinander befestigen, heißen für den gesamten Darmkanal Gekröse (Mesenterium), für die großen Bauchdrüsen, wie z. B. die Leber, Aufhängebänder. Der Bauchfellüberzug fehlt nur am untersten Stück des Mastdarmes vollkommen und an der Hinterfläche des Zwölffingerdarmes, des Blinddarmes und des aufsteigenden Dickdarmes zum Teil. In frühen Entwickelungsstadien hängt beim Menschen die ganze noch fast gerade verlaufende Darmrohranlage, vom Anfang der Speiseröhre an, mit dem in dieser Periode noch in der Längsrichtung des Gesamtkörpers stehenden, von dem übrigen Darmrohr sich nur als leicht spindelförmige Auftreibung unterscheidenden Magen, bis zum Darmende, an einer in der hinteren Mittellinie von der Wirbelsäule entspringenden häutigen Befestigung, dem hinteren Gekröse, dem Mesenterium dorsale, an der hinteren Bauchwand; außerdem ist der obere Abschnitt des Darmrohres, vom Anfang der Speiseröhre bis zum Ende des Zwölffingerdarmes, an der vorderen Mittellinie der Bauchwand durch das vordere Gekröse, Mesenterium ventrale, befestigt. Durch die später eintretende Drehung des Magens in seine für den Erwachsenen typische Lage sowie durch die bedeutende Verlängerung, Schlingenbildung und spiralige Aufrollung des Darmes, aber auch durch Verschmelzung anfänglich getrennter Gekrösflächen, bilden sich erst nach und nach die bleibenden Verhältnisse des Bauchfelles und Gekröses aus. Durch die Drehung des Magens wird das anfänglich kurze hintere, dorsale, „Magengekröse", welches der Drehung folgen muß, taschenartig ausgezogen und bildet das „große Netz"; das vordere, ventrale, „Magengekröse" wird nach rechts und vorn verlagert und bildet das „kleine Netz". Durch die enorme Verlängerung und Schlingenbildung des Darmes ist auch das anfänglich nur kurze, lediglich dorsale, Dünndarmgekröse ausgedehnt und bedeutend vergrößert. Vom Ende des Zwölffingerdarmes an wird dadurch der ganze Dünndarm durch eine große Bauchfellfalte, das Dünndarmgekröse (Mesenterium im engeren Sinne), an der Wirbelsäule an der inneren Rückwand der Bauchhöhle gleichsam aufgehängt. Von der Befestigung an der Lendenwirbelsäule, der Gekröswurzel, aus gegen den Dünndarm zu wird diese Bauchfellfalte immer breiter, und da sie sich an alle Schlingen des Darmes anlegt und alle seine Krümmungen mitmacht, legt sie sich in zahlreiche Falten, ähnlich wie eine Halskrause, woher der Name Gekröse oder Gekräuse stammt. In dem Gekröse verlaufen die zahlreichen Blut- und Lymphgefäße, mit ihren Lymphdrüsen, sowie die Nerven des Darmes zu den einzelnen Darmpartien.

Schema des Körperbaues des Menschen.

Der Rumpf stellt nach unserer bisherigen Darstellung eine aus Körperhaut, Muskeln und teilweise Knochen gebildete, rings geschlossene Röhre dar, an welcher die Arme und Beine als seitliche solide Wandanhänge ansitzen. Die Höhle des Rumpfes, die Brust-Bauchhöhle, schließt eine zweite Röhre, das Verdauungsrohr, in sich, welche die Brust-Bauchhöhle der Länge nach durchzieht und sich am oberen oder unteren Körperpole an der Körperoberfläche öffnet. Wir dürfen uns der Einfachheit wegen das lange Verdauungsrohr zunächst gerade gestreckt und von gleicher Länge wie das Brust-Bauchrohr, in welchem es eingeschlossen ist, denken; es sind das Verhältnisse, wie sie uns bei der ersten Entwickelung unseres Körpers als thatsächlich gegeben entgegentreten werden. In der hinteren Rumpfwand, von Fleisch, Knochen und Häuten, dem Rückgratskanal, umgeben, liegt dann noch ein Röhrengebilde, das Gehirn mit dem Rückenmark, dessen röhrenförmigen Bau wir schon oben erwähnt haben.

I. Entwickelungsgeschichte.

1. Das Ei als selbständiger Organismus.

Inhalt: Die mütterliche Keimform des Menschenkörpers. — Die Zelle und das Ei. — Der einfache Organismus. — Das vegetabile Protoplasma und das Ei. — Vergleichung des Menschen-Eies mit dem Tier-Ei.

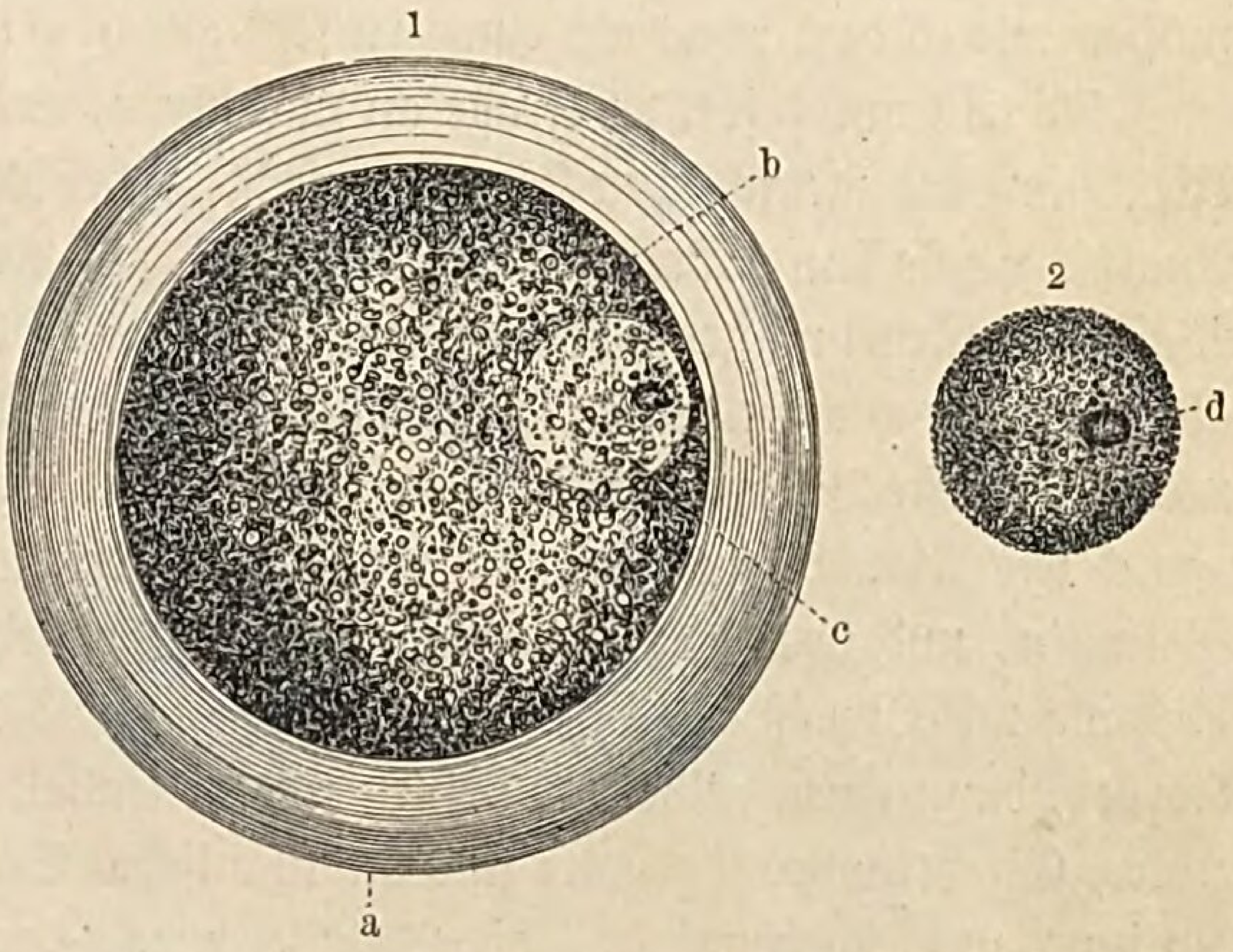
Die mütterliche Keimform des Menschenkörpers.

Es gibt keine Zeit, aus der uns Dokumente des Denkens und Forschens aufbehalten sind, in welcher der menschliche Geist nicht über die Entstehung des Menschen gedacht und geforscht hätte. Und zwar finden wir die Frage: „Woher?" schon in grauer Vorzeit sowohl für das Individuum als für die Gesamtheit des menschlichen Geschlechts aufgeworfen. Tausendfältig lauten die versuchten Antworten. Aber wie neu unser exaktes Wissen über diese Grundfrage der Menschheit ist, ergibt sich daraus, daß noch kein volles Menschenleben darüber hingegangen ist, seitdem die wahre Grundlage der individuellen Bildung des Menschenkörpers zum erstenmal beobachtet und der Wissenschaft für alle Zeiten gelehrt wurde.

Diese wichtigste, wahrhaft grundlegende Entdeckung in der Naturgeschichte des Menschen knüpft sich an den Namen Karl Ernst v. Baer. Man hatte vorher relativ große Gebilde in dem mütterlichen Keimorgan, die man nach ihrem Entdecker die Graafschen Bläschen nennt, als die menschlichen Ovula, als Eier, bezeichnet. Im Jahre 1827 fand K. E. v. Baer das während der Bildung und Reifung von der Hülle des Graafschen Bläschens geschützte wahre Ovulum, den mütterlichen Keim, das menschliche Ei. Es ist im reifen Zustande ein für das unbewaffnete Auge an der Grenze der Sichtbarkeit stehendes vollkommen kugelrundes, bläschenartiges Gebilde (s. Abbildung, S. 53, Fig. 1). Sein Durchmesser beträgt zwischen 0,18 und 0,2 mm. Eine verhältnismäßig dicke, aber glasartig-durchsichtige, farblose Hüllschicht (a) umschließt eine schwach gelbliche Kugel elastisch-weicher Substanz (b), in deren Innerem, oft exzentrisch, einem Kerne ähnlich, ein weit kleineres, bläschenartiges, helles Körperchen (c und Fig. 2), ebenfalls mit einer kernartigen Differenzierung im Inneren (d), erscheint.

Die glasartig-durchsichtige Umhüllungsschicht des Eies, die durchsichtige Zone (Zona pellucida), ist ein sich gegen die Inhaltsmasse scharf absetzendes hautartiges Gebilde. Nach den neueren Forschungen soll sie, was bei manchen Eiern niederer Tiere leicht zu beobachten ist, in radialer Richtung eine für scharfe optische Instrumente erkennbare, außerordentlich zarte Strichelung zeigen, herrührend von zahlreichen feinsten Porenkanälchen, die sie von außen nach innen senkrecht durchsetzen.

Die von der durchsichtigen Zone eingehüllte Substanz, die Hauptmasse des ganzen mütterlichen Keimes, besteht nach dem Sprachgebrauch der Naturwissenschaft aus **Protoplasma**, im allgemeinen Sinne des Wortes als „lebende Substanz“, dessen innere Differenzierungen wir weiter unten eingehend besprechen werden. Das aus dem Griechischen gebildete Wort, von **πρῶτος** (protos): der Erste, und *πλάσσω* (plasso): ich bilde, forme, bedeutet also soviel wie erste, ursprüngliche Bildungsmaterie. Aus dem Protoplasma, der „vorzugsweise lebenden Substanz“, wie man sie genannt hat, gehen alle weiteren Bildungen des menschlichen wie jedes anderen animalen Körpers als aus ihrem Urmaterial hervor. Man bezeichnet die Protoplasmakugel des menschlichen Eies wohl auch noch mit dem älteren Namen **Dotter**, oder, da dieses Wort ohne nähere Bestimmung zu Mißverständnissen und Verwechselungen mit dem Dotter der Vogeleier Veranlassung geben könnte, so wählt man dafür die Benennung **Hauptdotter** oder **Bildungsdotter**. Die Hauptmasse der bekannten gelben Dotterkugel des Vogeleies ist dagegen Nahrungsdotter oder Nebendotter.



Das menschliche Ei (vergrößert). 1. a) Durchsichtige Zone, b) Dotter, c) Keimbläschen. 2. Keimbläschen, d) Keimfleck.

Charakteristisch für das Protoplasma des mütterlichen Keimes ist ein Reichtum an zahllosen größeren und kleineren glänzenden Körnern, den wahren **Dotterkörnern** oder **Dotterblättchen**, zwischen denen und um den Kern angehäuft nur eine relativ geringe Menge durchsichtiger, äußerst feinkörniger Protoplasmasubstanz übrigbleibt. Das Protoplasma erscheint auf den ersten Blick als eine breiartig-weiche oder schleimähnliche Masse. Bei näherer Untersuchung bemerken wir aber, daß seine Teile einen organischen Zusammenhalt besitzen, der sich zuerst und vor allem in Formveränderungen zu erkennen gibt, welche das Protoplasma aus inneren, in ihm selbst wirksam werdenden Ursachen auszuführen vermag (s. S. 60, Anmerkung, ff.).

Jenes oben erwähnte kernartige, bläschenförmige Kügelchen, welches sich glänzend und scharf begrenzt aus der Protoplasmamasse des Eies abhebt, wird als **Keimbläschen** bezeichnet. Sein Durchmesser beträgt 0,04—0,05 mm. Es besteht vorwiegend aus durchsichtigem Protoplasma, durch eine festere Hüllschicht umschlossen. Im Inneren des Keimbläschens zeigt sich ein körniger, dunkler, weniger scharf begrenzter Fleck von etwa 0,005—0,007 mm Durchmesser, der **Keimfleck**. Das „Protoplasma des Keimbläschens“, d. h. die dasselbe aufbauende „lebende Substanz“, zeigt gewisse Verschiedenheiten von dem übrigen Protoplasma des Eies, es wird darum in diesem Sinne als **Kernplasma** von letzterem unterschieden, es ist charakterisiert durch die Anwesenheit gewisser „Kernsubstanzen“, namentlich **Nuclein**. Zu dem Protoplasma im weiteren Sinne, wie wir das Wort oben gebrauchten, gehören aber alle Substanzen des Dotters und Keimbläschens, welche die lebende Eisubstanz bilden, zusammengenommen.

Der reife mütterliche Keim des Menschen besteht also der Hauptsache nach aus einem kugeligen Klümpchen Protoplasma. Im Inneren hat sich letzteres zu einer Art Kern differenziert, ebenfalls aus Protoplasma bestehend, der selbst wieder seinerseits eine kernartige Bildung entwickelt. Umschlossen ist diese **kleine Doppelkugel lebender Substanz** durch eine zwar durchsichtige, aber doch relativ feste Schutzhülle. So einfach ist die Gestaltung des menschlichen Eies.

Von den tausendfältigen Antworten, welche die ältere spekulierende Naturforschung auf die Frage nach der ersten Bildungsgrundlage des Menschenleibes zu geben versucht hatte, war keine, die sich nur von fern dem wahren, nun durch exakte Beobachtung festgestellten Sachverhalt annäherte. Der menschliche Körper erscheint in dem Ei in der, wie es uns scheinen möchte, denkbar einfachsten Formanlage.

Die Entstehungsgeschichte des Eies, des mütterlichen Keimes des Menschen, zeigt uns aber dasselbe vor seiner Reifung in noch einfacherer Gestalt. Die schützende durchsichtige Zone, welche das reife Ei umkleidet, ist eine sekundäre, für das eigentliche Wesen des mütterlichen Keimes relativ untergeordnete Bildung. In seiner ersten Anlage ist der mütterliche Keim, das Ur-Ei oder Primordial-Ei, ein nacktes, weiches, aber aus innerem Antrieb sich bewegendes und lebendes Protoplasmaklümpchen, in welchem sich der Kern, das Keimbläschen mit dem Keimfleck, schon gebildet zeigt. Auch das reife menschliche Ei lebt, und so einfach es gebaut erscheint, so müssen wir es doch schon als einen in sich geschlossenen Organismus bezeichnen.

Da tritt nun sofort die Frage an uns heran, aus welchen chemischen Stoffen die lebende Ursubstanz des menschlichen Körpers besteht. Ihre Masse ist zu klein, um eine genauere chemische Analyse zuzulassen. Doch steht so viel fest, daß die Hauptmenge des Eiprotoplasmas aus in Wasser gelösten und gequollenen Eiweißstoffen (Globuline, Albumine, Plastin) besteht, welche aber teilweise auch in den Dotterkörnchen fest ausgeschieden sind. Im Eidotter der Vögel, welcher zwar nicht erste Bildungssubstanz des Leibes, aber immerhin dessen erstes Nahrungsmaterial zum Zweck seiner Ausbildung ist, hat man außer verschiedenen Eiweißstoffen noch Fette: Oleïn und Palmitin, und zwei hochzusammengesetzte phosphorhaltige organische Stoffe: Lecithin, in Verbindung mit Eiweiß als Vitellin beschrieben, und Nucleïn oder wenigstens einen nucleïnartigen Körper, dann einen gelben und einen roten eisenhaltigen Farbstoff neben Cholesterin, Traubenzucker, Glycerinphosphorsäure und anorganischen Salzen nachgewiesen, unter letzteren Calcium-, Kalium- und Natriumsalze, die Metalle vorzugsweise an Phosphorsäure, Schwefelsäure und Chlor gebunden. Auch Fluor- und Kieselsäure wird angegeben. Die Zusammensetzung des Protoplasmas des menschlichen mütterlichen Keimes ist von der des Neben- oder Nahrungsdotters im Vogel-Ei gewiß wesentlich verschieden, aber immerhin geben uns anderweitige vergleichende Beobachtungen das Recht, wenigstens in Beziehung auf das Vorkommen der wichtigsten der genannten chemischen Stoffe zwischen beiden eine ziemlich weit gehende Analogie zu vermuten. Das eben erwähnte Nucleïn, wahrscheinlich eine Verbindung eines Eiweißstoffes mit einem zweiten phosphorsäurehaltigen chemischen Stoff, ist für das „Kernplasma" charakteristisch; es heißt auch Chromatin, da es sich in den gebräuchlichen Farbstoffen bei mikroskopischen Untersuchungen stark und dauernd färbt. Vielleicht eine Vorstufe der Nucleïnbildung ist das Paranucleïn; andere im Kernplasma vorkommende Substanzen werden als Linin und Amphipyrenin bezeichnet.

Als individuell lebendes tierisches Wesen bedarf der menschliche mütterliche Keim, wie alle animalen Keime, zur Erhaltung und Entwickelung Nahrung, Wärme und Zufuhr von Sauerstoff. Bei größeren animalen Keimen läßt sich eine wahre Atmung leicht nachweisen, bei welcher das Ei, wie ein ausgebildetes Tier, Sauerstoff aufnimmt und dafür Kohlensäure und Wasserdampf abscheidet. Durch Aufnahme flüssigen Nahrungsstoffes von außen wächst der mütterliche Keim.

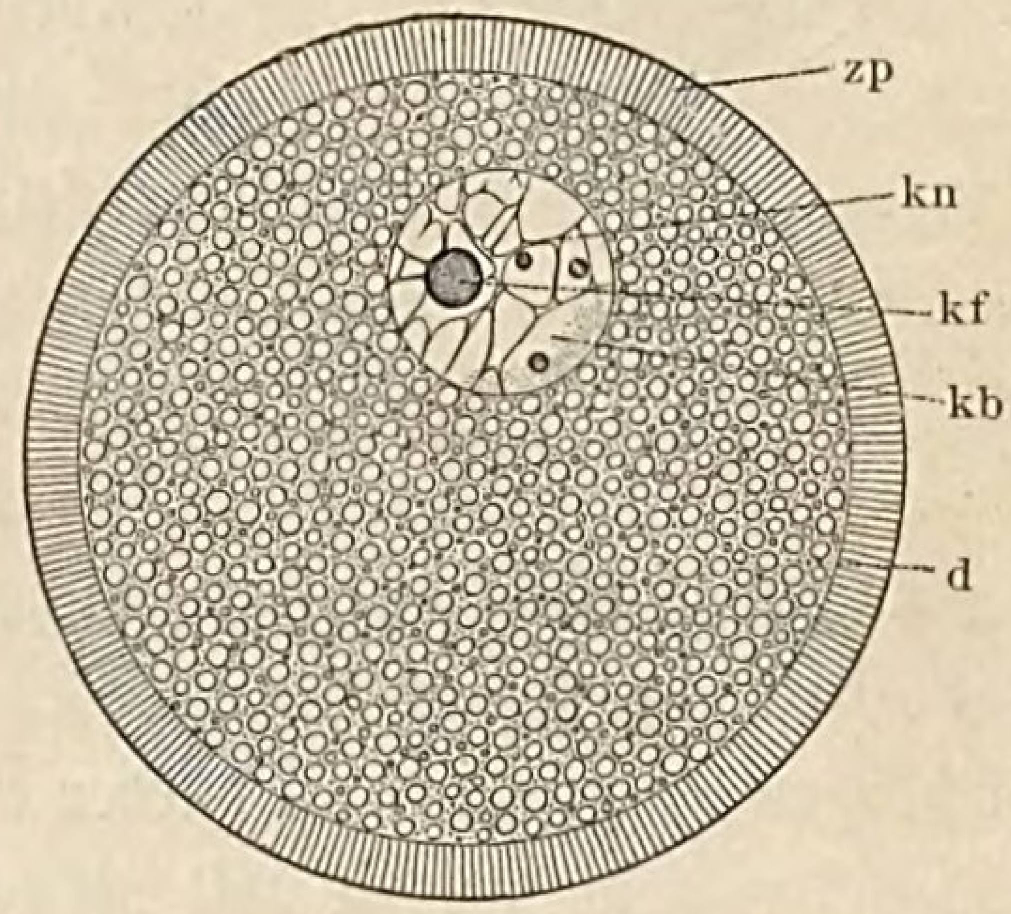
Die kugelige Primitivform, in welcher das individuelle menschliche Leben auftritt, scheint nicht die geringste Ähnlichkeit zu besitzen mit dem ausgebildeten, vielgegliederten Menschenkörper. Wir haben im Ei einen kleinen, selbständig lebenden animalen Organismus vor uns, der sich bewegt und ernährt, der in einer wahren Atmung Stoffe aufnimmt und abgibt und der, wie wir

in der Folge sehen werden, die Fähigkeit zur Vermehrung, zur Fortpflanzung, in ausgezeichneter Weise besitzt. Die mikroskopische Forschung lehrte uns aber, daß in dieser einfachen animalen Grundform schon die ersten Linien des Baurisses gezogen erscheinen, welche uns das in seiner Vollendung so verwickelte Gebäude des menschlichen Organismus zu verstehen lehren. Der menschliche Körper wird aus mikroskopischen Bauelementen aufgebaut und zeigt sich auch in seinem vollkommen entwickelten Zustande aus Elementarformen zusammengesetzt, welche alle eine ausgesprochene Ähnlichkeit, ja zum großen Teil, abgesehen von ihrer geringeren Größe, eine überraschende Übereinstimmung mit dem mütterlichen Keim, dem menschlichen Ei, zeigen, aus dem sie hervorgegangen sind.

Die Zelle und das Ei.

Die Gesetzmäßigkeit der animalen Formbildung, welche uns im Aufbau des entwickelten Menschenleibes entgegentritt, erkennen wir im Bau der Tiere wieder. In diesem Sinne können wir mit Oken das Tierreich als den zergliederten Menschen bezeichnen.

Für die Klärung unserer allgemeinen Anschauungen von dem Wesen des Lebens verdanken wir dem Mikroskop keine folgewichtigere Entdeckung als den Nachweis, daß es die niedrigsten, scheinbar kaum geformten animalen Wesen sind, an welchen sich am schärfsten und deutlichsten das allgemeine Gesetz ausprägt, welches alle die unzählbar verschiedenen Bildungen des animalen Reiches, an deren Spitze als höchste Erscheinungsform der Mensch steht, zu einem idealen Ganzen verbindet. Ja, dieselben niedrigen Formen beweisen uns noch weiter, daß auch die Bildung des Pflanzenkörpers im ersten Grundriß dem des Tierkörpers entspricht. Das Mikroskop lehrt, daß alle uns so grundverschieden dünkenden Pflanzen und Tiere, von der Eiche bis zu dem mikroskopischen Pflänzchen, vom Menschen bis herab zu den kleinen, mit unbewaffnetem Auge nicht mehr sichtbaren Tierchen, daß jede Einzelform in dieser Welt von Mannigfaltigkeit wesentlich nichts anderes sei als eine Zusammenhäufung von mikroskopisch kleinen Gebilden, alle von einer und derselben elementaren Grundform.



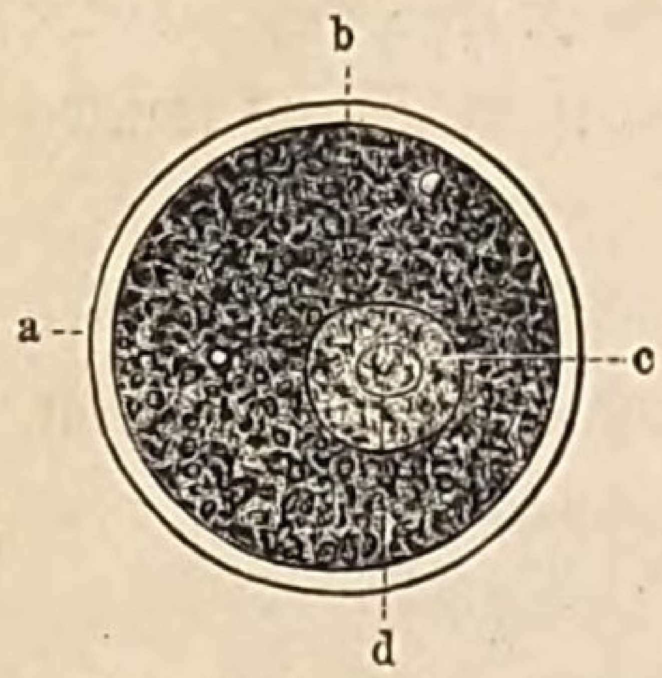
Kaninchen-Ei. (Nach Waldeyer.) zp Zona pellucida, kb Keimbläschen, kn Kernnetz, kf Keimfleck. Der Dotter enthält Körner d vom Deutoplasma oder Paraplasma.

Die niedrigsten Pflanzen und Tiere sind diejenigen, bei welchen der ganze Leib nichts anderes ist als eine einzelne dieser mikroskopischen elementaren Grundformen des Lebens, welche bei ihnen in selbständiger, individueller Existenz als ein in sich ruhender Organismus erscheint. Aber auch jede der einzelnen den tierischen oder pflanzlichen Leib aufbauenden elementaren Grundformen muß nach den Ergebnissen der naturwissenschaftlichen Forschung noch als ein eigner, im wesentlichen in sich abgeschlossener Organismus betrachtet werden. Der Gesamtorganismus der Tiere und Pflanzen erscheint uns sonach zunächst als ein Aggregat von mikroskopischen Elementarorganismen. Die Wissenschaft legt den letzteren den Namen Zellen bei.

Auf der untersten Stufe der animalen wie vegetativen Organisation besteht nach dem eben Gesagten das Individuum aus einer einzigen Zelle, welche alle Funktionen des Lebens in sich vereinigt. Aber auch die zahllosen, irgend einen größeren Organismus zusammensetzenden Zellen führen trotz ihrer Vereinigung zu einem höheren individuellen Ganzen noch eine unverkennbare Sonderexistenz. Wir sehen jede einzelne für sich entstehen, wachsen, sich fortpflanzen, erkranken,

zu Grunde gehen, ohne daß der Gesamtorganismus an diesen Einzelschicksalen eines seiner mikroskopischen Grundteilchen weiteren Anteil nehmen müßte. Das individuelle Leben jeder einzelnen Zelle gibt sich in eignen besonderen Thätigkeiten zu erkennen. Das Gesamtleben, die Gesamtthätigkeit des großen Organismus, ist das Resultat des Einzellebens, der Einzelthätigkeiten aller ihn zusammensetzenden Zellen.

In ihrer fertigen Entwickelung erscheint die Zelle in den beiden Reichen der Lebewesen als ein mehr oder weniger kugeliges, bläschenförmiges Gebilde, meist von mikroskopischer Kleinheit. Die Hauptmasse der Zelle der Pflanzen wie der Tiere wird von einem Klümpchen elastisch-weicher Substanz, Protoplasma, im allgemeinen Sinne des Wortes als „lebende Substanz" (s. untenstehende Abbildung, b), gebildet, welches sich dem Protoplasma des mütterlichen Keimes des Menschen ebenso in den wesentlichen Lebenserscheinungen wie im chemischen Bau weitgehend ähnlich erweist. Die immerhin bestehenden charakteristischen Differenzen in der verschiedenen Menge der feinkörnigen und der grobkörnigen Substanz (Protoplasma und Paraplasma) und im Chemismus wie in den Lebensthätigkeiten der „vorzugsweise lebenden Substanz" im Tier- und Pflanzenreiche sucht man durch die Unterscheidung eines animalen und eines vegetabilen Protoplasmas anzudeuten. Der Hauptmasse nach besteht alles Protoplasma aus in Wasser gelösten und gequollenen Eiweißstoffen und anorganischen Salzen. Die Unterschiede ergeben sich wesentlich, abgesehen von etwaigen Verschiedenheiten der Eiweißmodifikationen, aus den nach Qualität und Quantität wechselnden anderweitigen, oben für das Ei angegebenen Mischungsbestandteilen, wie Lecithin, Nucleïn und anderen, deren Menge hinter den Eiweißstoffen normal sehr zurückbleibt.



Die Pflanzenzelle.
a) Zellmembran, b) Protoplasma, c) Zellkern, d) Kernkörperchen. Stark vergrößert.

Bei mikroskopischer Besichtigung des Gesamtprotoplasmas der Zelle zeichnet sich neben zahlreichen kleinen und kleinsten Körnchen ein größeres kugeliges Gebilde aus, ebenfalls aus Protoplasma bestehend. Es wird als Zellkern oder Kern (c) bezeichnet, in dessen Innerem meist wieder ein kleineres Korn als Kernkörperchen (d) zu unterscheiden ist. Das Protoplasma der voll entwickelten Zelle mit seinen Einschlüssen wird vielfach von einer zarteren oder dickeren Hülle, der Zellhaut oder Zellmembran (a), abgeschlossen, welche namentlich bei animalen Zellen nicht selten eine feinste Streifung in radiärer Richtung erkennen läßt.

Aus der Vergleichung des Baues der Zelle mit dem Bau des mütterlichen Keimes des Menschen ergibt sich sonach, daß der letztere in allen wesentlichen Beziehungen als eine Zelle erscheint. Wie die Zelle, ist das Ei der Hauptsache nach ein kugeliges Klümpchen lebender Substanz. Der Zellkern findet sein Gegenstück im Keimbläschen, das Kernkörperchen im Keimfleck, die Zellmembran in der durchsichtigen Zone, und wie die letztere eine erst sekundär entstehende Bildung ist, so besitzen auch die „jugendlichen Zellen" noch keine Zellmembran; diese kann, wie es scheint, bei vielen Zellen während des ganzen Verlaufs ihres Einzellebens fehlen. Solche Zellen können als „nackte Zellen" von den mit einer Zellhaut bekleideten unterschieden werden.

Das wesentlich Lebende an der Zelle ist, wie an dem Ei, das Protoplasma. Der Kern bildet den Lebensmittelpunkt der Zelle und spielt namentlich bei ihrer Vermehrung und Fortpflanzung eine hervorragende Rolle. Aber der Kern kann, wenigstens in gewissen Lebensperioden, der Zelle auch scheinbar fehlen, d. h. es kann seine Substanz von dem übrigen Protoplasma nicht erkennbar differenziert sein, und dann erscheinen solche mikroskopische Elementarorganismen als vollkommen ungegliederte Klümpchen der schleimigen Protoplasmamasse. Solche nackte, kernlose, lebende Schleimklümpchen würden sich zur Zelle mit Zellmembran, Kern und Kernkörperchen gleichsam wie Larven zum ausgebildeten Insekt verhalten, es wären unentwickelte Zellen.

In verschiedenen Lebewesen und in den verschiedenen Organen derselben erleidet die Grundgestalt der Zellen mannigfache Umbildungen. Wir werden diese „Metamorphose der Zelle“, wie sie im menschlichen Organismus verläuft, erst später eingehend zu betrachten haben. Aber hier müssen wir schon erwähnen, daß sich alle diese vielgestaltigen Zellenformen auf das einfache Schema zurückführen lassen, aus welchem sie hervorgegangen sind, und welches sich uns in vollendeter Klarheit und Reinheit in dem mütterlichen Keime des Menschen, im Ei, dastellt. Jede Zelle ist, wie das Ei, im Grunde ein elementarer Organismus, versehen mit allen wesentlichen Attributen des Lebens.

Der einfache Organismus.

Der Kern der Zelle und das demselben entsprechende Keimbläschen des Eies dürfen als primitive Organe bezeichnet werden, die sich an die höher ausgebildeten Fortpflanzungsorgane komplizierterer animaler Formen anreihen lassen. Ebenso können wir Zellhaut und durchsichtige Zone zu den Hauptorganen höherer Tiere stellen. Aber die Mehrzahl der übrigen, irgend einem höher gebildeten tierischen Organismus eigentümlichen Organe fehlen den ausgebildeten Zellen, und manche unentwickelte Zellen lassen ja auch vielleicht den Zellkern und sicher die Zellhaut vermissen. Da aber die Zellen thatsächlich alle die wesentlichen Lebensäußerungen zeigen, zu welchen der höhere animale Organismus seine differenzierten Organe benutzt und bedarf, so bezeichnen wir auch sie in jedem Stadium ihrer Ausbildung trotz des teilweisen oder völligen Mangels entwickelter Organe im physiologischen Sinne als wahre Organismen oder, wie man mit einiger Übertreibung zu sagen pflegt, als Organismen ohne Organe.

Jeder animale Organismus bethätigt sein Leben in einer Summe von Leistungen, welche die höheren und höchsten wie die niedrigsten animalen Lebewesen gleichmäßig charakterisieren, und die wir zum Verständnis des Lebensvorganges zunächst kennen lernen müssen.

Während des ungestörten Fortganges des Lebens verlaufen in dem tierischen Körper ununterbrochen gewisse chemisch-physikalische Prozesse unter Aufnahme von Sauerstoff. Die Folge davon ist eine beständige Umsetzung, ein Verbrauch des den Körper bildenden Stoffmaterials unter Bildung von Zersetzungsprodukten. Die Gesamtheit dieser wichtigen Lebenserscheinungen, auf deren Ablauf die Kräfteproduktion des Organismus beruht, wurde von Justus v. Liebig als Stoffwechsel bezeichnet. Der Stoffverbrauch im Stoffwechsel bedingt die Notwendigkeit einer Nahrungsaufnahme. Der von außen aufgenommene, in seiner wesentlichen chemischen Zusammensetzung dem verbrauchten Körpermaterial des animalen Organismus schon mehr oder weniger entsprechende Nahrungsstoff wird durch die Vorgänge der Verdauung teils auf das feinste mechanisch zerteilt, teils in die flüssige Form übergeführt und in der Art chemisch umgewandelt, daß er direkt zum Ersatz des im Lebensprozeß Verbrauchten dienen kann.

Die im Stoffwechsel aus der lebenden Körpersubstanz und der Nahrung erzeugten Zersetzungsstoffe, welche zum Teil, wie Kohlensäure, Harnstoff und andere, heftig wirkende Gifte für den Organismus sind, werden aus demselben nach außen abgeschieden. Das Gleiche widerfährt den unschädlichen, aber im Körper nicht mehr verwendbaren Stoffwechselprodukten. Auch von den Nährstoffen wird alles, was der lebenden Substanz nicht ähnlich gemacht worden ist, wieder aus dem Körper entfernt. Darauf beruht die Notwendigkeit der Ausscheidungsvorgänge, die exkretorische Thätigkeit des Organismus. Überwiegt die Menge des in der Nahrung aufgenommenen und dem Protoplasma durch die Verdauung assimilierten Stoffes, so kann unter sonst geeigneten Bedingungen der Körper in seiner Gesamtheit wachsen. Es entsteht damit zugleich das geeignete

Material zur Erzeugung eines neuen Organismus im körperlichen Anschluß an den schon bestehenden. Die Lebensvorgänge der Ernährung, des Wachstums und der Fortpflanzung lassen den innigsten Zusammenhang erkennen.

Besonders entscheidend für das animale Leben sind aber die Vorgänge der Empfindung und freiwilligen Bewegung. Auf der letzteren beruhen die Einwirkungen des animalen Organismus auf die Dinge der Außenwelt, die äußere Stoffaneignung, die allgemeinere Ortsveränderung des Körpers, der geschlechtliche Verkehr mit Individuen der gleichen Art und anderes. Die Empfindung vermittelt umgekehrt die Einwirkungen der Außenwelt auf den animalen Organismus. Jene Teile des animalen Körpers, welche speziell den genannten verschiedenartigen Thätigkeiten des Lebens vorstehen, bezeichnen wir als Organe. Der Gesamtkörper erscheint als eine Summe von Organen, als ein Organismus.

Bei den einfachsten animalen Lebeformen beweist uns das Vorhandensein der verschiedenen Organthätigkeiten, daß in dem Protoplasma dem Werte nach alle die verschiedenartigen Organe vorhanden sind, welche wir als differenzierte Bildungen bei höheren Tieren und dem Menschen finden. Von diesen Gesichtspunkten aus haben wir nun zunächst die Lebensäußerungen der einfachsten Organisationsformen des animalen Reiches etwas eingehender ins Auge zu fassen.

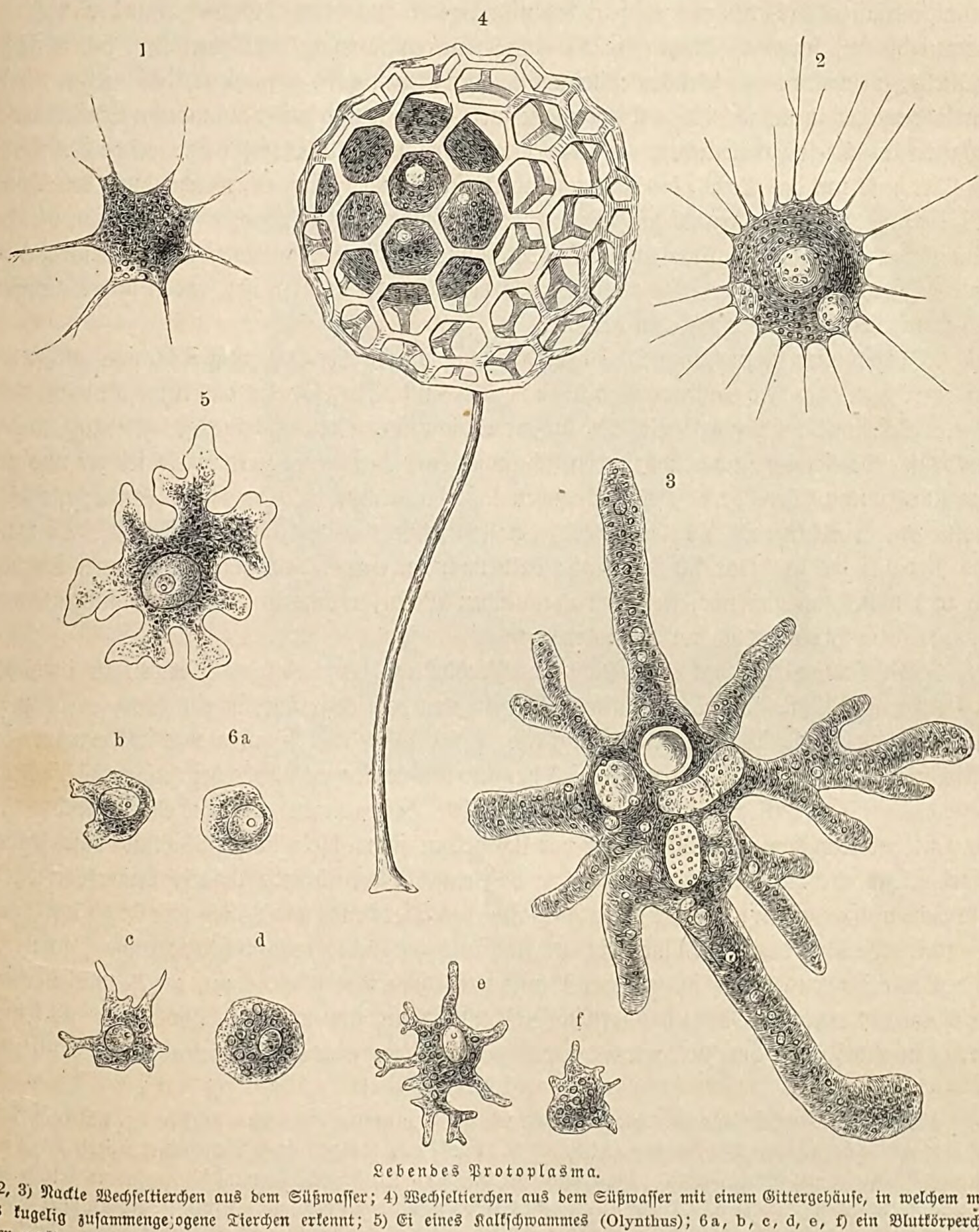
Wir können die Äußerungen des individuellen Zellenlebens sehr vollständig auch an den mikroskopischen Elementarorganismen, den Zellen oder, wie sie Rudolf Virchow genannt hat, den mikroskopischen Lebensherden, beobachten, welche einen höheren Organismus, z. B. den Körper des Menschen, aufbauen. Aber es gibt animale Wesen, welche, wie die unentwickelte Form jeder Zelle, zeit ihres Lebens nur aus einem Klümpchen Protoplasma bestehen, in welchem es sogar hier und da vielleicht noch nicht zur Differenzierung eines wahren „Kernes“ gekommen ist, und das sich nur unter bestimmten Lebensverhältnissen mit einer der Zellmembran vergleichbaren Hülle umkleidet. An diesen Tierchen treten uns die elementaren Erscheinungen des animalen Lebens in aller erwünschten Klarheit entgegen, und ihre Betrachtung gibt uns wichtige Aufschlüsse über manche dunkle Punkte nicht nur im Leben der animalen Zelle und des mütterlichen Eikeimes, sondern auch in dem des komplizierten Organismus.

Die unterste Abteilung der tierischen Organismen bilden in der modernen zoologischen Systematik die Wurzelfüßer oder Rhizopoden. Zu diesen werden auch jene unentwickelten Tierchen gestellt, mit deren einfachem Körper wir die erste Anlage des Menschenleibes und die Zellen des erwachsenen zu vergleichen haben.

Die Wurzelfüßer sind der Mehrzahl nach mikroskopische Wesen von etwa 0,1 mm Durchmesser. Es finden sich aber auch wenigstens zehnmal kleinere sowie größere Formen von mehreren Millimetern; ja, eine ihrer vorweltlichen Familien, die Nummuliten, erreichte die Größe von etwa 25 mm. Sie bewohnen heute wie in uralten Epochen der Bildung unseres Planeten alle Meere, teils auf der Oberfläche und in geringen Tiefen in unzählbaren Mengen schwimmend, teils an den flachen Küsten im Schlamm und in dem Astwerk der Algen kletternd. Aber sie finden sich auch, obgleich seltener, im Süßwasser und fast überall da, wo Feuchtigkeit und organische Nährstoffe das niedrigste animale Leben begünstigen.

Die weit überwiegende Mehrzahl der Arten der Wurzelfüßer besitzt ein zierliches, meist aus Kalk, bei einigen Sippen auch aus Kieselerde bestehendes Gehäuse (vgl. Abbildung, S. 59, Fig. 4, und S. 63). Dieses ist teils einkammerig, teils setzt es sich aus mehreren oder zahlreichen Kammern zusammen, die sich bei den meisten zu verschiedenen mikroskopischen, schneckenhausähnlichen Formen gruppieren. Darin lebt das Tierchen, das entweder mit nur einer Öffnung in der letzten Kammer oder durch außerordentlich zahlreiche feinste Poren in den Wandungen aller

Kammern mit der Außenwelt zu kommunizieren vermag. Einige Arten entbehren aber des Gehäuses (s. untenstehende Abbildung, Fig. 1, 2 und 3), und gerade diese „nackten“ Formen sind es, auf welche wir unser Augenmerk für den vorliegenden Zweck vor allem zu richten haben.



Lebendes Protoplasma.

1, 2, 3) Nackte Wechseltierchen aus dem Süßwasser; 4) Wechseltierchen aus dem Süßwasser mit einem Gittergehäuse, in welchem man das kugelig zusammengezogene Tierchen erkennt; 5) Ei eines Kalkschwammes (Olynthus); 6a, b, c, d, e, f) ein Blutkörperchen einer nackten Seeschnecke (Thetis) in den verschiedenen von ihm freiwillig angenommenen Formen. Alle Figuren stark vergrößert.

Die lebende Körpermasse der Wurzelfüßer, sowohl in den mannigfach gestalteten Gehäusen als bei jenen Formen, welche nackt eines Gehäuses vollkommen entbehren, wurde früher als „Sarkode“ bezeichnet, die neueren Untersuchungen haben sie als animales Protoplasma, diese Bezeichnung hier ebenfalls in dem allgemeinen Sinne des Wortes, ohne Rücksicht auf schon erkannte innere Differenzierungen gebraucht, erkannt. Die nackten, schalenlosen Wurzelfüßer

erscheinen im Ruhezustand als kleine, mehr oder weniger kugelige Protoplasmaklümpchen. Ihr Leben äußert sich zunächst darin, daß sie, durch innere Ursachen getrieben, also, wenn wir uns auf dieser niedrigsten Stufe des animalen Lebens des Wortes schon bedienen dürfen, **freiwillig**, ihre Gestalt in wunderlicher Weise verändern. An dem kugeligen Körper entstehen Fortsätze der mannigfaltigsten Art, bei einigen fein fadenförmige (s. Abbildung, S. 59, Fig. 1 und 2), bei anderen dickere, lappige, ästige (Fig. 3). Die feineren Fortsätze verbinden sich, indem sie sich verästeln, gleichsam durch Brücken miteinander oder fließen ganz zusammen, dann sehen wir die Fortsätze wieder in die schleimige Körpermasse zurückgezogen und dafür an anderen Stellen andere ausgestreckt. Diese fußähnlichen, oft verzweigten Fortsätze, die **Scheinfüße**, welche den Körper des Tierchens um das Sechs- bis Achtfache übertreffen können, sind es, welche ihnen den Namen „Wurzelfüßer“ eingetragen haben. Durch das Aussenden von zahlreichen Scheinfüßen verwandeln sich einige dieser Tierchen in stern- oder sonnenförmige Gestalten. Die schalentragenden Wurzelfüßer, deren Körper ebenso einfach wie derjenige der nackten ist, senden ihre Scheinfüße aus den feinen Poren der Schalen hervor.

„Durchmustert man“, sagt O. **Schmidt**, „mit starker Vergrößerung Schlamm aus stehenden Gewässern oder den Satz aus Aufgüssen verschiedenster Art, so wird das Auge oft durch kleine lebende Schleimklümpchen gefesselt. Die äußere Schicht ist eine durchsichtige, gleichförmige, äußerst feinkörnige Masse; im Inneren befinden sich außer einem größeren Kerne viele feinere und gröbere Körner und Körnchen.[1] Das Klümpchen läßt bald hier, bald da einen Fortsatz gleichsam ausfließen, in welchen sich die übrige Körpermasse nachzieht oder gleichsam nachgießt. So wankt und schwankt die scheinbar flüssige Masse bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung hin und nährt sich von noch kleineren organischen Wesen, welche in das Innere aufgenommen und von dem Protoplasma verdaut werden.“

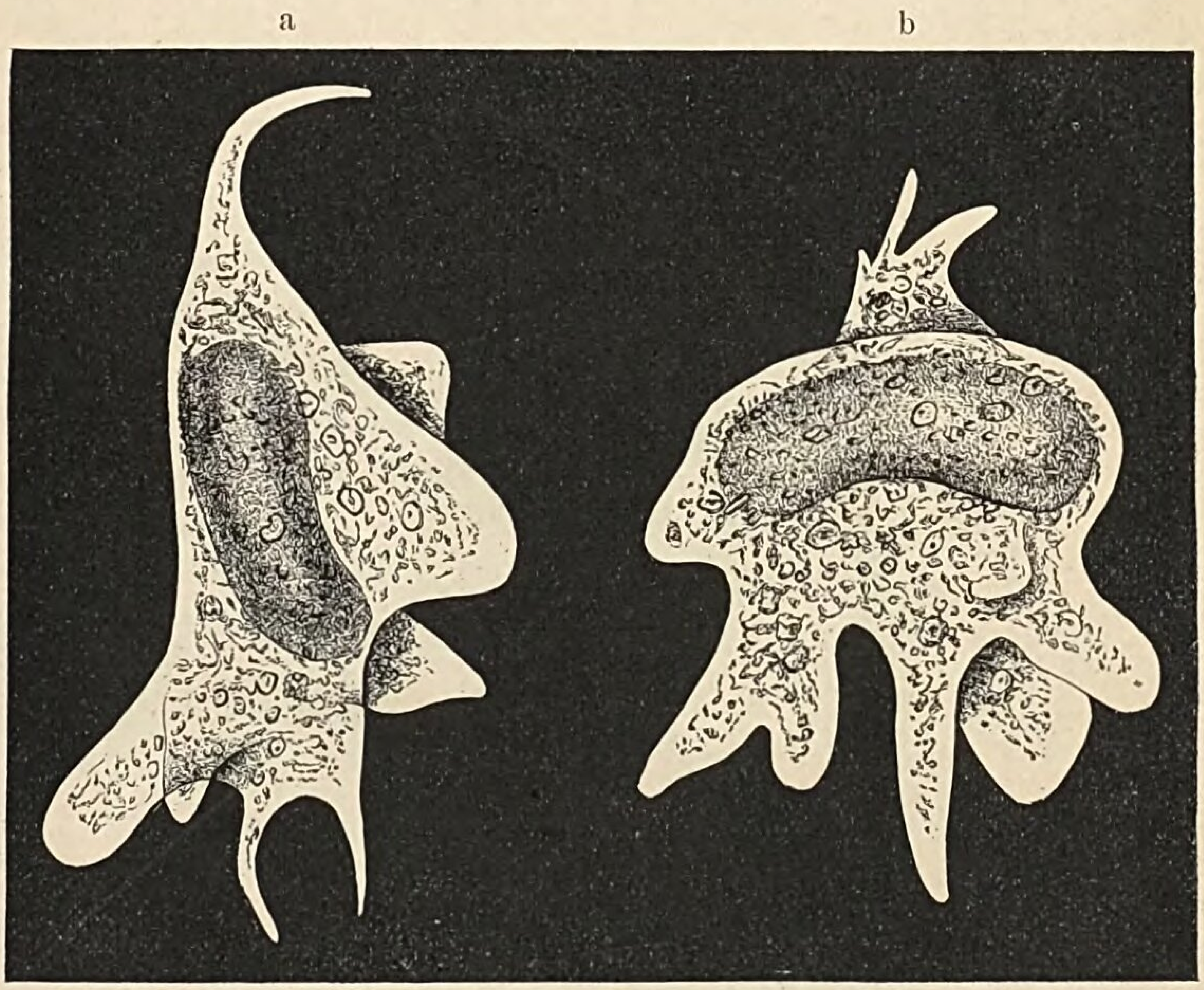
Diese Beschreibung des ausgezeichneten Beobachters der niedrigen Tierwelt ist in hohem Maße charakteristisch. Das kleine animale Wesen, von dem er spricht, ist ein **Wechseltierchen**, eine Amoeba (s. Abbildung, S. 61, und Fig. 3, S. 59). Das Wanken und Schwanken, das fortwährende Wechseln des Körperumrisses hat für den denkenden Beobachter etwas höchst Frappierendes. Es unterliegt keinem Zweifel, daß diese Bewegungen animaler Natur sind. Wir sehen sie bald langsamer, bald schneller vor sich gehen; sie wechseln in der Richtung ohne jegliche sofort erkennbare Regelmäßigkeit und ohne daß eine äußere störende Ursache bemerkbar würde. Die Scheinfüße werden durch die eigne Initiative des Tierchens, wie Taster oder Fühlfäden, ausgesendet. Berührt einer von ihnen ein zur Nahrung geeignetes organisches Körnchen, so strömt in den betreffenden Fortsatz in größerer Menge das Körperprotoplasma ein, der Fortsatz umfließt gleichsam das ergriffene Nahrungspartikelchen, hüllt es ein, und wir sehen ihn darauf mit seinem Fange in das Innere des Protoplasmaleibes zurückgezogen werden, in diesem wieder aufgehen.

---

[1] Die äußere feinstkörnige Protoplasmaschicht wird als Ectosarca, die innere grobkörnige mit dem Kerne als Endosarca bezeichnet. Die Außenzone ist nach R. **Greff** u. a. in spezifischer Weise differenziert, sie ist vorwiegend Trägerin der Kontraktilität. Man muß bei den körnigen Einschlüssen im Protoplasma feinste und gröbere Körnchen unterscheiden. Erstere fehlen dem Protoplasma wohl niemals, es sind die eigentlichen Protoplasmakörnchen oder **Mikrosomen**, während die anderen gröberen Körnchen, wie Dotterplättchen, Fetttröpfchen, Farbstoffkörnchen u. a., mehr zufällige Einlagerungen im Protoplasma darstellen als Nahrungsmaterial, Reserve-, Ausscheidungs- und Umbildungsstoffe. Diese letzteren Zelleneinschlüsse sind es, welche von **Kupffer** im Ei und anderen Zellen von dem Protoplasma, der „primitiv vitalen Substanz“, als **Paraplasma**, van **Beneden** als **Deutoplasma** unterscheidet. Die eigentlichen Protoplasmakörnchen, die Mikrosomen, sind fast in allen Zellen in der etwas festeren Hautschicht viel weniger zahlreich als im übrigen weicheren Zellenleibe; man hat daher die Substanz der Hautschicht als **Hautplasma** oder **Hyaloplasma**, das übrige Protoplasma als **Körnerplasma** benannt, dem Ecto- und Endosarca zum Teil entsprechend.

Für den verschwundenen Körperfortsatz bilden sich dann an anderen Körperstellen neue solche vorübergehende, bloß für den Augenblick differenzierte Scheinorgane aus, deren Selbständigkeit nur so lange besteht, als sie der kleine Organismus zu einer ganz bestimmten, zeitlich beschränkten Lebensaufgabe nötig hat.

So sehen wir tierisches Leben vor uns mit allen seinen wesentlichen Erscheinungen, ja auch mit solchen, die wir bei höheren Tierformen als psychische zu bezeichnen gewöhnt sind, und doch zeigen uns unsere schärfsten optischen Apparate an dem Körper, in dem dieses Leben wohnt, nichts als eine kleine Masse organischen Schleimes, der einen größeren Kern und zahlreiche Körnchen, etwa noch einen zusammenziehbaren Hohlraum, umschließt. Da findet sich kein Mund zur Aufnahme von Nahrung, kein Verdauungskanal zur Assimilation der letzteren; da zeigt sich keine Spur von Atmungsorganen, kein Nervensystem, an welches wir uns sonst die psychischen Eigenschaften geknüpft denken, kein Muskelsystem, das etwa Bewegungsorgane der einfachsten Art in Thätigkeit setzen könnte, keine Einrichtungen, die den Fortpflanzungsorganen höherer animaler Wesen näher entsprechen. Aber den Mangel aller dieser Organe ersetzt die wunderbare Gestaltungsfähigkeit des „vorzugsweise lebenden" Stoffes, des Protoplasmas.

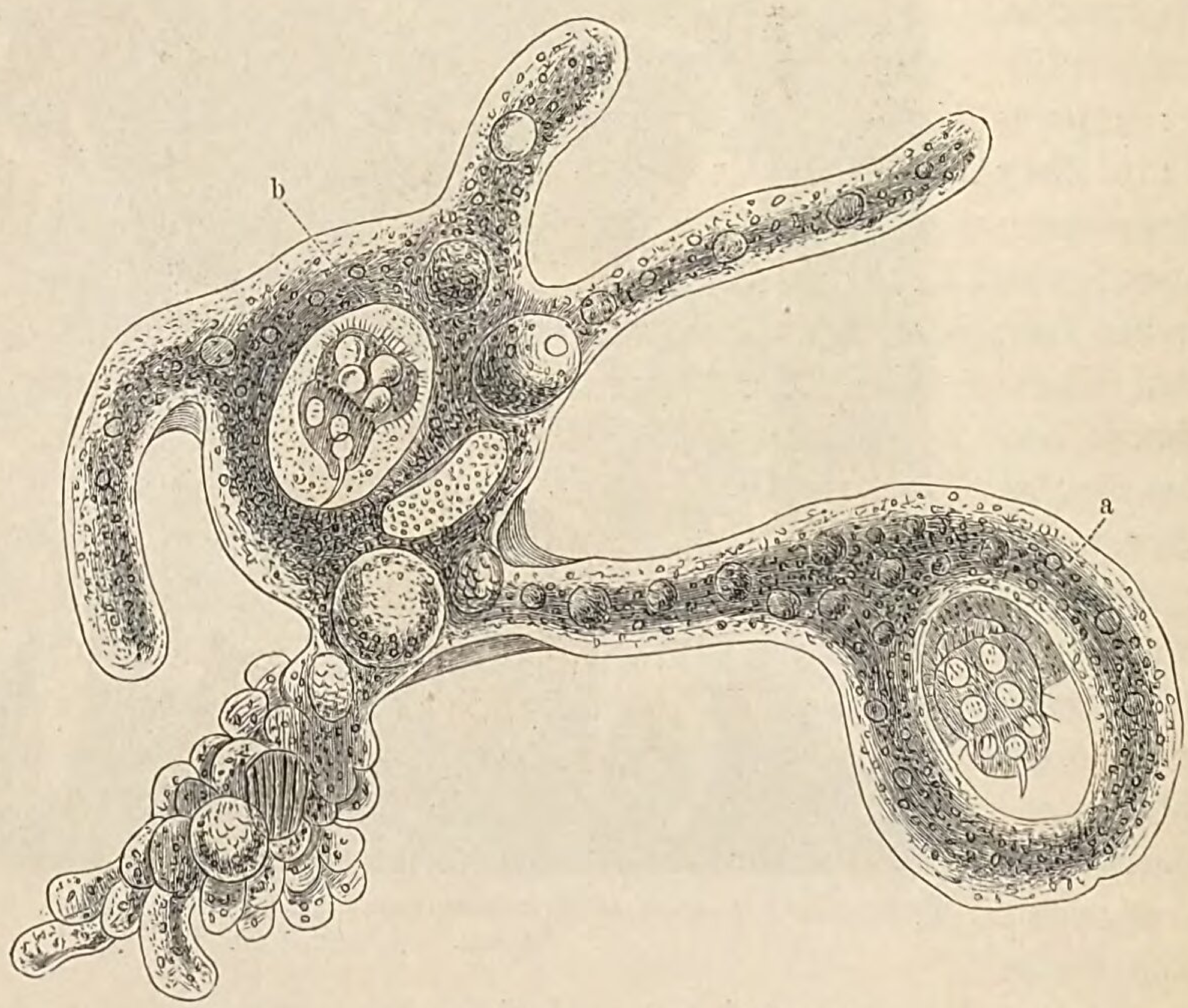


Wechseltierchen (Amoeba), 600mal vergrößert. a) und b) zeigen dasselbe Tier in veränderter Gestalt. Vgl. Text, S. 60.

Die Scheinfüße dienen den Tierchen als temporäre Bewegungsorgane, mit denen wir sie wie Schnecken auf dem Boden oder an den Wänden von Gläsern, in welchen sie sich im Wasser befinden, unter der Lupe hinkriechen sehen können. Gleichzeitig erscheinen diese vergänglichen Apparate als zeitweilige Organe des Tastsinnes zur Vermittelung von Eindrücken der Außenwelt. Aber auch als Fangwerkzeuge zur Ergreifung von Nahrung werden sie, wie wir sehen, verwendet, und die Stelle, an welcher sie mit ihrem Fange in den Protoplasmaleib zurückgezogen werden, wird zum Munde und zur Verdauungshöhle. Bei den schalenlosen Rhizopoden werden die Nahrungspartikelchen mit den Scheinfüßen in die Hauptmasse des Körpers eingedrückt. Das Protoplasma hat in hohem Maße die Fähigkeit, die nahrhaften Bestandteile zu verdauen, auszusaugen und dem Protoplasma einzuverleiben. Der unverdaute Rest wird durch eine ähnliche Bewegung an einer Stelle des Körpers, die nun als Auswurfsöffnung funktioniert, wieder ausgestoßen; jedoch verläuft diese Bewegung in umgekehrter Richtung wie jene, welche zur Aufnahme des Nahrungskörnchens in den Körper geführt hatte.

Nach den Beobachtungen des amerikanischen Forschers Joseph Leidy sind die Amöben vorwiegend Pflanzenfresser, doch verschmähen sie auch animale Nahrung nicht, wenn sie sich ihnen

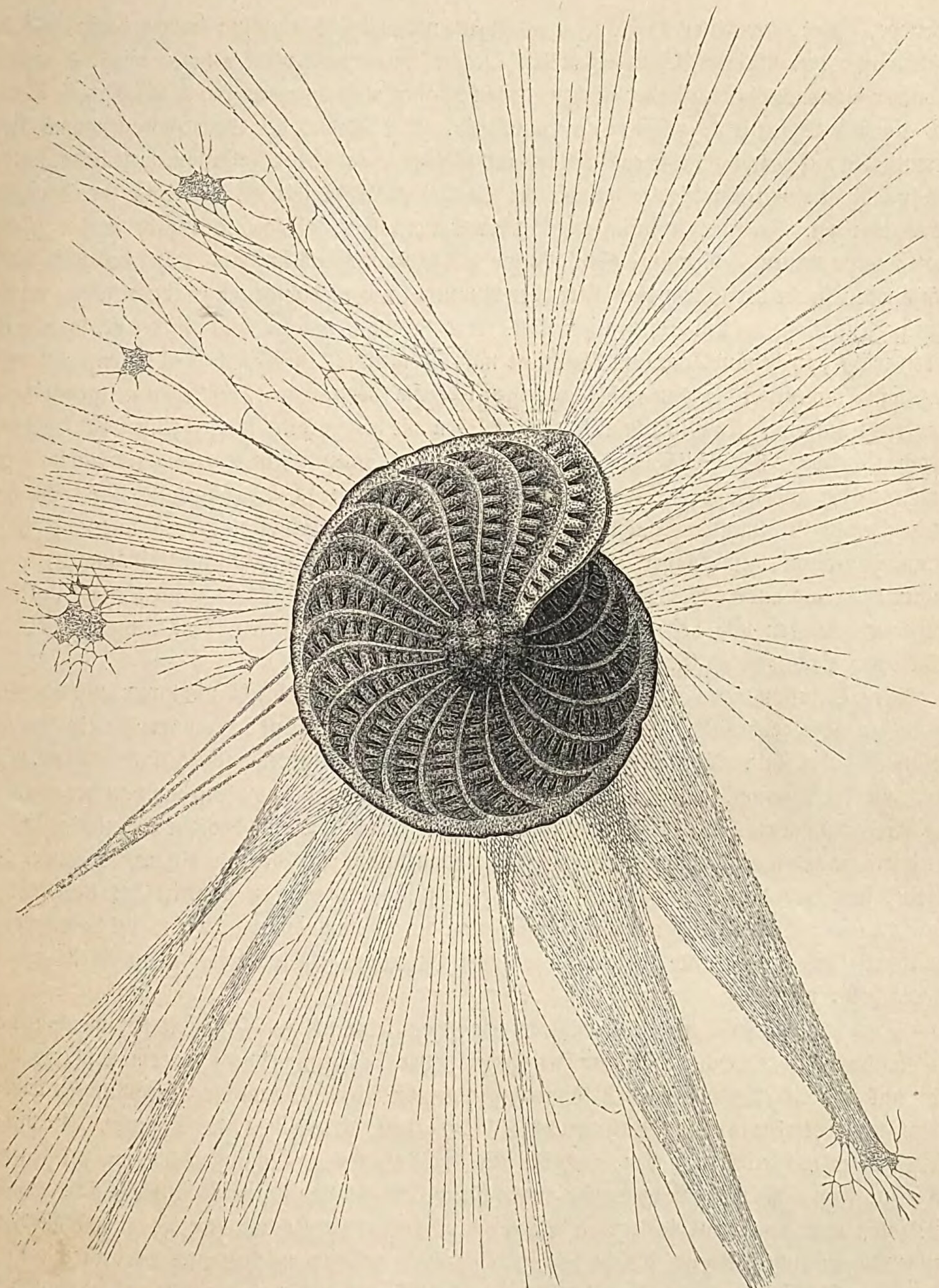
darbietet. Ihre gewöhnliche Nahrung besteht aus einzelligen Algen, Diatomeen, Zoosporen und aus Teilen fadenförmiger Algen oder Bruchstückchen von dem Gewebe höherer Pflanzen. Leidy schreibt den Amöben ein augenscheinliches Vermögen der Unterscheidung und Wahl des Futters zu. Er bemerkte, daß sie regelmäßig die Schalen toter Diatomeen und leere Algenzellen verschmähen. Manchmal fangen die größeren Amöbenformen auch lebende Infusorien. So sah Leidy eine Amöbe (s. untenstehende Abbildung), welche schon ein Infusorium, ein Urocentrum (b), gefangen hatte, noch ein zweites Opfer derselben Art (a) mit ihren Scheinfüßen ergreifen und endlich, wie das erste, in das Innere ihres Körpers in eine relativ große zeitweilige Höhle einbetten. Diese von der Amöbe gefressenen Infusorien, welche sich zuerst lebhaft bewegt hatten,



Ein Wechseltierchen aus dem Süßwasser. a) und b) vom Wechseltierchen eingefangene Infusorien. Sehr stark vergrößert.

wurden nach einiger Zeit bewegungslos, dann wurden die beiden Hohlräume, welche die Infusorien umschlossen, kleiner und kleiner, endlich war der Inhalt der Höhlungen nicht mehr größer als die gewöhnlichen im Protoplasma liegenden kleinen Futterballen, und jede Spur des früheren Charakters der beiden Opfer war verschwunden. Auch pflanzliche Nahrungspartikelchen verlieren, abgesehen von konsistenteren Gebilden, wie z. B. Diatomeenschalen, außerordentlich rasch unter der Verdauung des Protoplasmas ihr charakteristisches Aussehen und werden in kleine, kugelige Ballen, Futterballen, verwandelt, wie sie sich zahlreich im Amöbenleibe finden. Die Veränderung durch die Verdauung tritt namentlich sichtbar an dem Farbstoff der aufgenommenen Nahrung hervor, das Blattgrün, Chlorophyll, der Algen wird z. B. braun.

Diese Fähigkeit zu verdauen besitzt jeder Teil des Rhizopoden-Protoplasmas. Bei schalentragenden Rhizopoden (s. Abbildung, S. 63) werden die Scheinfüße selbst zu Verdauungsorganen. Die Öffnungen, durch welche bei den viellöcherigen Schalen derselben die Scheinfüßchen hervortreten, sind so fein, daß sie zwar dem Protoplasma in den zartesten Fäden, nicht aber irgend welchen relativ voluminöseren Einschlüssen den Durchgang gestatten. Hat bei diesen Schalenträgern ein Protoplasmafortsatz ein Nahrungsobjektchen gefunden und ergriffen, so rückt aus dem



Ein schalentragender Wurzelfüßer (Polystomella strigillata), 200mal vergrößert.

Körper eine größere Protoplasmamenge in den Fuß nach, es verbinden sich wohl mehrere Scheinfüße mit dem ersteren netzartig, endlich ist die Menge des Protoplasmas so weit angewachsen, daß sie das Nahrungskörperchen reichlich umhüllt. Nun erfolgt an Ort und Stelle der Verdauungs- und Aussaugungsprozeß und schließlich die Ausstoßung des Restes.

Es funktionieren die Scheinfüße der Wurzelfüßer aber auch an Stelle spezieller Atmungsorgane und zwar in gewissem Sinne in ähnlicher Weise wie die freien Kiemen vieler im Wasser

lebender, höher entwickelter Tiere. Im allgemeinen besteht die Atmung immer darin, daß den Säften und den übrigen Bestandteilen des Organismus Gelegenheit geboten wird, Sauerstoff entweder direkt aus der Luft oder solchen, der in Wasser oder einer anderen Flüssigkeit, in welcher das atmende Wesen lebt, gelöst ist, aufzunehmen. Der Modus der Sauerstoffaufnahme ist im wesentlichen auf den physikalischen Vorgang des Gaswechsels, der Diffusion, begründet, welcher um so lebhafter sich abspielt, je dünner die Schicht der Flüssigkeit ist, in welche der Sauerstoff einzutreten hat. Bei jeder Atmung geht mit der Sauerstoffaufnahme eine Abgabe der im Lebensprozeß entstandenen Kohlensäure ebenfalls durch Diffusion Hand in Hand. Bei den schalenlosen Rhizopoden findet der Gasaustausch bei der Atmung an der gesamten Körperoberfläche, aber in gesteigertem Maße an den Scheinfüßen statt. Das Protoplasma der Wurzelfüßer ist, solange das Leben währt, in beständiger, dem Anscheine nach strömender, in Wahrheit aber kontraktiler Bewegung. Namentlich die Innenschichten zeigen lebhafte Bewegungen, an denen gelegentlich auch der Kern teilnimmt. Auch in den Scheinfüßen sehen wir die charakteristischen feinen Protoplasmakörnchen auf der einen Seite vom Hauptkörper weg den Scheinfuß in zentrifugaler Richtung entlang, auf der anderen wieder zentripetal dem Hauptkörper zu scheinbar zurückfließen. Auf diese Weise kommt in dünnster Schicht das Protoplasma in Berührung mit dem sauerstoffhaltigen Atmungsmedium, dem Wasser. Dadurch wird unter möglichst günstigen Bedingungen, indem immer neue und andere Partien der Leibessubstanz in die Scheinfüße nachrücken und dann, mit Sauerstoff beladen und befreit von Kohlensäure, wieder zurückkehren, dem Atmungsbedürfnis des kleinen Organismus Genüge geleistet.

Der Diffusionsverkehr des Protoplasmas mit dem Wasser bleibt nicht nur auf den Austausch der Gase beschränkt, es findet zugleich ein Wechsel der tropfbaren Flüssigkeiten und Lösungen dabei statt. Auch hierzu bieten die Scheinfüße eine unverkennbare Unterstützung. Obwohl, wie die Atmung, so der gesamte Flüssigkeitsaustausch infolge von Diffusion an der gesamten nackten Protoplasma-Oberfläche des Körpers erfolgt, so beteiligen sich doch die Scheinfüße infolge der durch sie bedingten, oft enormen Oberflächenvermehrung vorzüglich an diesem Vorgange. Sie regeln, steigern oder verlangsamen den auf Diffusion beruhenden Eintritt des notwendigen Wassers und den Austritt der in den Flüssigkeiten des Protoplasmas gelösten, im Lebensprozeß gebildeten Zersetzungs- und Auswurfstoffe durch Diffusion, letzteres etwa in der Weise wie die Nieren höherer Tiere.

Das Protoplasma ersetzt, obwohl es keineswegs eine wahre Flüssigkeit ist, durch aktives, auf Kontraktion beruhendes Hin- und Herschieben seiner Teilchen, wodurch vollkommen der optische Eindruck und die Wirkung einer Strömung hervorgebracht wird, auch die Einrichtungen höherer Tiere für Zirkulation der Nahrungsflüssigkeiten, des Blutes, der Lymphe. Bei vielen, vielleicht den meisten Rhizopoden, auch bei den Amöben, treten aber außerdem, wie bei den Infusorien, schon eigne Bewegungseinrichtungen für wirklich flüssige Körperbestandteile auf. Es sind jene schon erwähnten pulsierenden Hohlräume, Vakuolen (im Protoplasma ohne hautartige Abgrenzung gelegen), welche sich erweitern und zusammenziehen und dadurch wie kleine Herzen die Flüssigkeiten aus dem Protoplasma bei ihrer Erweiterung in sich einsaugen und bei ihrer Verengerung wieder in dasselbe einpressen. Temporäre Vakuolenbildung kann man gelegentlich in jedem lebenden Protoplasma, in Pflanzen- und Tierzellen, beobachten.

Leidy bezeichnet diese Vakuolen der Amöben als kontraktile oder pulsierende Bläschen, doch besitzen dieselben, wie schon erwähnt, keine sie von dem übrigen Protoplasma abgrenzende Hülle. Sie sind also keineswegs ständige, sondern, wie die Scheinfüße, nur temporäre Organe. Sie erscheinen als durchsichtige, farblose oder schwach rosa gefärbte, im Protoplasma liegende Kugeln. Man sieht sie sich sehr langsam vergrößern. Dann fallen sie fast momentan zusammen und

verschwinden plötzlich; nach einiger Zeit erscheinen sie und zwar gewöhnlich, aber nicht immer an ihrer alten Stelle wieder. Diese aufeinander folgenden, gleichsam pulsierenden Bewegungen treten mit einem gewissen Grade von Regelmäßigkeit, von Rhythmus, auf. Der wässerige Vakuoleninhalt scheint sich aus allen Teilen des Protoplasmaleibes zu einem Tropfen zu sammeln, der, wenn er eine gewisse Größe erreicht hat, nach Leidys Meinung vielleicht durch mechanischen Reiz Kontraktion, Zusammenziehen, hervorruft und dadurch wieder ausgetrieben wird. Wahrscheinlich dient dieser Vorgang ebensowohl den Atmungs- wie Ausscheidungsfunktionen. Neben den kontraktilen Hohlräumen kommen im Protoplasma auch kleinere Flüssigkeitströpfchen vor, vielleicht zum Teil aufgenommenes Wasser, aber wohl teilweise auch durch die Verdauung flüssig gewordene Reste aufgenommener Nahrung.

Bezüglich der, wenn dieses Wort gestattet ist, „nervösen Reizbarkeit" der Amöben verdanken wir ebenfalls Leidy und neuerdings Bruno Hofer wichtige Aufschlüsse. Man sollte meinen, daß ihre nackte Leibesoberfläche und namentlich die Scheinfüße, mit denen sie so gut im stande sind, die passende Nahrung auszuwählen, auch für äußere Reize, z. B. für mechanische Einwirkungen, eine hohe Empfindlichkeit besitzen müßten. Das scheint aber keineswegs in so hohem Maße, wie man es erwarten sollte, der Fall zu sein. Bei ihren Wanderungen kommen die Amöben oft in Berührung mit lebhaft und rasch sich bewegenden Infusorien, lassen sich aber durch die Stöße der letzteren nicht in ihren Bewegungen stören. Sogar das Abreißen kleinerer Stücke ihres Körpers scheint, wenn der Kern, welcher nach Hofers Untersuchungen ihren eigentlichen Lebensmittelpunkt darstellt, und der kontraktile Hohlraum noch erhalten geblieben sind, wenig Eindruck auf sie zu machen; sie bewegen sich fort, als wäre ihnen nichts geschehen. Doch sind unsere Tierchen gegen äußere Einflüsse in Wahrheit keineswegs unempfindlich. In dem Augenblick, in welchem man die Amöbe aus dem Wasser, in dem sie lebte, auf das Objektglas zur mikroskopischen Untersuchung bringt, was immer nur mit einigen Störungen ihrer Lebensbequemlichkeiten gelingt, erscheint sie meist ohne alle Scheinfüße als ein kugeliger oder eiförmiger Ball, aus Protoplasmamasse bestehend. Erst nach einer Weile erheben sich, zuerst wie kleine Tröpfchen, an der Außenfläche die Anfänge von Scheinfüßen, die sich dann in der mannigfaltigsten Weise vergrößern.

Unter Umständen, die für die Lebensthätigkeiten der nackten Rhizopoden, als deren Repräsentanten wir auch hier, wie bisher, die Amöben betrachten, ungeeignet sind, sehen wir dieselben ebenfalls die kugelige Gestalt auf kürzere oder längere Zeit annehmen. Das tritt z. B. ein bei extremen Graden von Wärme wie Kälte, so daß dieser kugelige Zustand unserer kleinen Organismen in den genannten Fällen sowohl an den Winter- als Sommerschlaf höherer Tiere erinnert. Wenn sie sich zu diesem schlafähnlichen Zustand durch Annahme der Kugelgestalt vorbereiten, so reinigen sie zunächst den Körper von allen Futterresten, indem sie die Futterballen und die anderen mit aufgenommenen Stoffe, wie Sand und anderes, ausstoßen. Und nun umkleiden sie sich mit einer nach und nach an Dicke zunehmenden strukturlosen Haut, in gewissem Sinne einer Zellhaut oder Zellmembran entsprechend, die wahrscheinlich zum Teil das Produkt einer „Koagulation", einer Art Gerinnung der Außenschichten des Protoplasmas ihres Körpers, ist. Nachdem die Tierchen in diesem Zustande eine unbestimmt lange Zeit verharrten, sieht man sie öfters, wenn unterdessen die Umstände für ihr Leben wieder günstig geworden sind, ihre Hülle sprengen, fortkriechen und Nahrung aufnehmen, ganz wie sonst, als hätten sie nur eine Zeitlang im Schlafe gelegen.

Möglicherweise steht dieser Zustand der Einkapselung der nackten Rhizopoden in einem gewissen, aber bis jetzt noch unerkannten Zusammenhang mit ihrer Fortpflanzung, deren exakt erkannte Erscheinungen wir erst später genauer darstellen werden. Nur das wollen wir hier schon

erwähnen, daß als Art der Fortpflanzung bei den nackten Wurzelfüßern nach sicheren Beobachtungen die einfachste Form der Individuenvermehrung, wie sie sich im ganzen Kreise der niedrigsten pflanzlichen wie tierischen Organismen verbreitet zeigt, die Teilung, auftritt. Der Körper zerfällt dabei in zwei der Masse und Funktionierung nach oft von vornherein gleichwertige Stücke, die sich dann noch weiter zu teilen vermögen.

Die eingekapselte Amöbe entspricht in allen Teilen ebensowohl einer animalen Zelle mit Zellmembran wie dem mütterlichen Keime des Menschen, dem Ei. Ein kugeliges Klümpchen animaler lebender Substanz, dessen Innenpartien einen Kern gebildet haben, von einer hautartigen schützenden Hülle umschlossen, ausgestattet mit allen Grundfähigkeiten des animalen, tierischen, Lebens: diese Beschreibung paßt dann ebensowohl auf die Amöbe wie auf die animale Zelle, wie auf das Ei des Menschen.

Aus der Lebensbeschreibung der nackten Wurzelfüßer hat sich uns ergeben, wie unabhängig die animalen Lebenserscheinungen von vorgebildeten Organen sind. Die proteusartige Fähigkeit der Umwandlung der Gestalten und Funktionen ersetzt dem einfachen Protoplasmaleibe alle Organe. Wir sehen alle die verschiedenartigen Funktionen, welche wir schon bei wenig höher organisierten tierischen Wesen, am vollkommensten aber bei der höchsten animalen Lebeform, dem entwickelten Menschenkörper, auf sehr verschiedene Organe und Organgruppen, die sich in ihrem anatomischen Bau wesentlich voneinander unterscheiden, verteilt finden, in dem einfachen Protoplasmaleibe der Wurzelfüßer noch ungetrennt, jedem Teile desselben eigen. Jeder Teil scheint als Mund, Verdauungsorgan und Auswurfsöffnung, jeder als Fangorgan, Taster und Bewegungsfuß, jeder als Atmungsapparat und Ausscheidungsdrüse funktionieren zu können.

Nach diesen Erfahrungen rückt auch das selbständige Leben eines so einfachen Gebildes, wie der mütterliche Keim des Menschen ist, unserem Verständnis näher, und wir beginnen zu begreifen, wie den mikroskopischen Bauelementen und Lebensherden, welche den höheren und den höchsten animalen Organismus zusammensetzen, den Zellen, noch ein größerer oder geringerer Anteil individuellen Lebens gewahrt bleiben kann. Wir haben ja ein niedriges individuelles Leben auch bei Tieren gefunden, deren Körper zeitlebens denselben Formwert wie das Ei des Menschen und die Zellen des menschlichen wie jedes anderen höheren Tierkörpers beibehält.

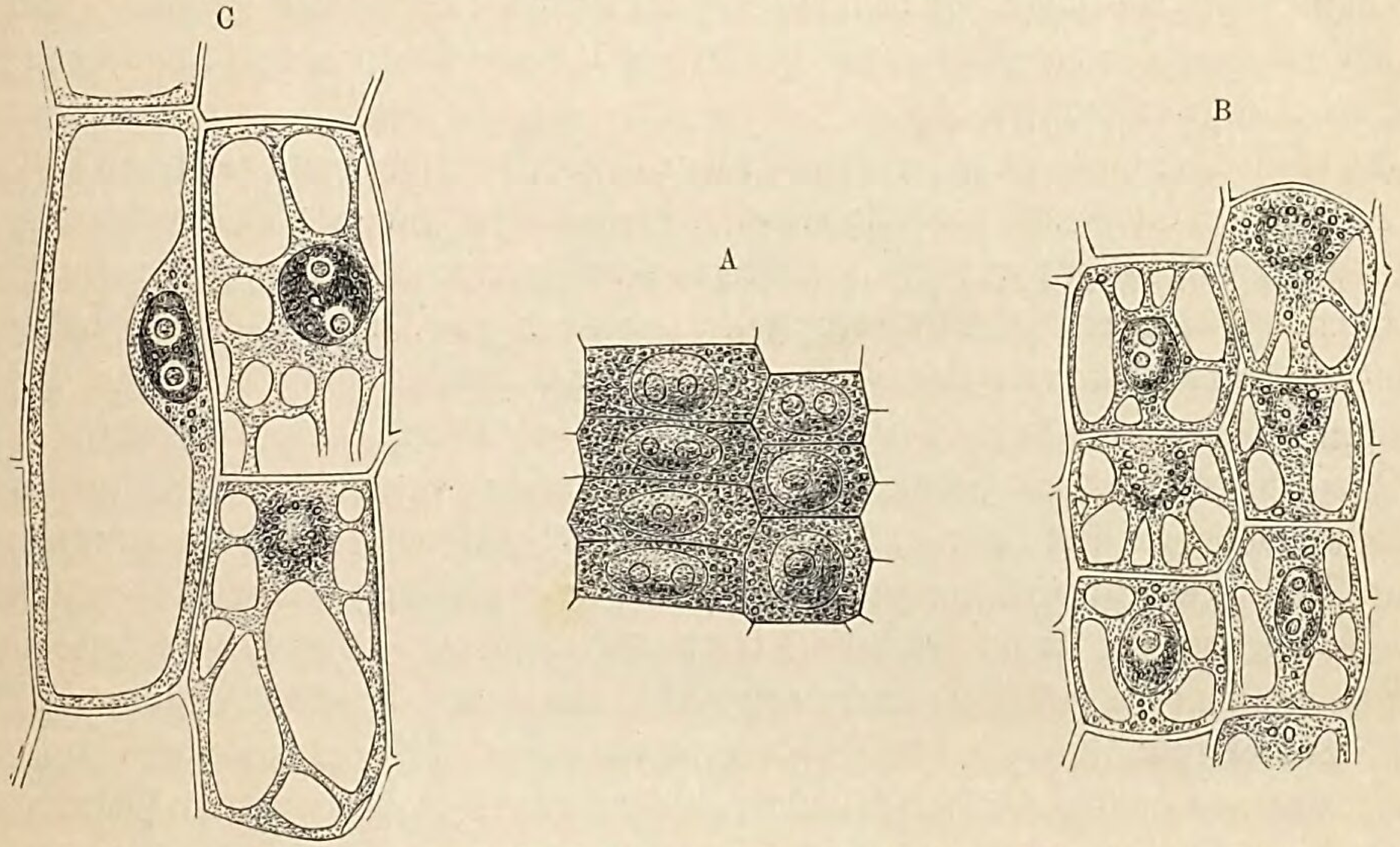
Das vegetabile Protoplasma und das Ei.

Das allgemeine Bildungsgesetz des Lebens, das sich in der Zellstruktur der Organismen ausspricht, gilt, wie wir hörten, ebenso für Pflanzen wie für animale Wesen. Auch im Pflanzenreich finden sich elementare Lebeformen, welche dem mütterlichen Keime des Menschen in hohem Maße entsprechen.

Die „wesentlich lebende“ Substanz im Pflanzenreich, das vegetabile Protoplasma, zeigt im allgemeinen ähnliche Eigenschaften und durchläuft zur Bildung der fertigen Zelle entsprechende Stadien wie das animale Protoplasma. Das Protoplasma der Pflanzen ist eine eiweißreiche Substanz, von inneren Kräften zusammengehalten und geformt wie das tierische Protoplasma und in kaum geringerem Grade als dieses mit Kontraktilität, d. h. mit der Fähigkeit zur Einleitung aus inneren Ursachen eintretender Gestaltsveränderungen, ausgerüstet. Doch sind die chemische Zusammensetzung und die daraus hervorgehende wesentliche Äußerung des Lebens bei dem Protoplasma beider Reiche immerhin nicht unbeträchtlich verschieden.

In dem Protoplasma der Pflanze findet sich, auch wenn dasselbe, nackt und frei beweglich, dem tierischen außerordentlich ähnlich erscheint, in irgend einer Form ein chemischer Stoff, wahrscheinlich irgendwie in Lösung, welcher sich bald zuerst als äußerst zarte, dann dicker und dicker werdende hautartige Hülle, als Zellmembran, aus dem Protoplasma ausscheidet. Dieser für das Pflanzenprotoplasma in hohem Maße charakteristische Stoff, der dem animalen Protoplasma fast ausnahmslos fehlt, ist der Zellstoff, die Cellulose. Auch die chemischen Stoffe, welche in der das Protoplasma durchtränkenden und gelegentlich in seinen Hohlräumen, Vakuolen, sich abscheidenden wässerigen Flüssigkeit, dem Zellsaft, enthalten sind, unterscheiden sich in beiden Reichen wesentlich.

Dagegen herrscht in der äußeren formalen Erscheinung der animalen wie vegetabilen Zelle hohe Übereinstimmung (vgl. die Abbildungen S. 53 und 56). Auch die Pflanzenzelle wird wesent-



Pflanzengewebszellen aus der Wurzelrinde von Fritillaria. Nach J. Sachs. Stark vergrößert.
A) Sehr junge Zellen noch ohne Zellsaft, B) ältere, C) noch ältere Zellen. Der Zellsaft bildet in B) und C) im Protoplasma Tropfen, von Protoplasmawänden umgrenzt.

lich von dem Protoplasmakörper gebildet, der sich, indem er für längere oder kürzere Zeit ein selbständiges Leben zu führen vermag, zur ausgebildeten Pflanzenzelle verhält wie die Larve zum fertigen Insekt, welches sich, reicher gegliedert, aus jener entwickelt. Die fertige Pflanzenzelle zeigt sich umhüllt von einer mehr oder weniger dicken Hüllhaut, einer Zellmembran, aus Zellstoff, Cellulose, bestehend. Bei jugendlichen Pflanzenzellen erfüllt das Protoplasma den Innenraum der Zelle vollkommen. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle und bei allen Zellen höherer Pflanzen kommt es aber auch im vegetabilen Protoplasma zur Differenzierung eines Kernes und anderer körniger Einschlüsse. Im späteren Verlauf des Lebens treten im Zellprotoplasma der Pflanzen, wie im animalen Protoplasma, Hohlräume, Vakuolen, auf, zwar wohl niemals eigentlich pulsierend, aber wie jene mit wässeriger Flüssigkeit, Zellsaft, gefüllt. Der letztere kann so an Masse zunehmen, daß das Protoplasma durch die Einlagerung der Flüssigkeit einen grobmaschigen oder schwammartigen Bau erhält; ja, schließlich wird das Protoplasma in den älteren Pflanzenzellen häufig auf eine direkt unter der Cellulosehaut liegende, den Kern einschließende Schicht reduziert, welche schlauchartig einen mittleren, ganz und gar von Zellsaft erfüllten Hohlraum umschließt. Unter den körnigen Einschlüssen des Protoplasmas der Pflanzenzellen spielen kleine, meist rundliche, grün gefärbte Körperchen, die Blattgrün- oder Chlorophyllkörper, eine der wichtigsten

Rollen. Ganz besonders häufig finden sich im Protoplasma der Zellen mehlreicher Pflanzen kleine, um ein Zentrum geschichtete, blasse Körnchen, die Mehlkörperchen oder Stärkekörnchen, die chemisch aus dem Zellstoff sehr nahe verwandten Stoffen, namentlich aus Stärkemehl, bestehen.

Zellstoff, Blattgrün und Stärkemehl sind für die Pflanzenzellen in hohem Maße charakteristisch. Aber nach den neueren Untersuchungen bildet kaum eines dieser Vorkommnisse eine absolute Unterscheidung zwischen Pflanzen und Tieren. Den Pilzen und allen eigentlichen Schmarotzerpflanzen fehlt das für die höheren Pflanzen so charakteristische Blattgrün, dagegen glaubte man bisher, daß es bei einigen niedrigen Tieren, bei Stentor, Hydra und Bonellia, als normaler Körperbestandteil auftrete. Neue Untersuchungen haben aber erwiesen, daß dieses Blattgrün kleinen, als Schmarotzer im Protoplasma jener Tiere lebenden oder als Nahrung aufgenommenen Algen zugehört. Am entscheidendsten ist das Vorkommen des Zellstoffs im Pflanzenreich in seiner Gestalt als Zellmembran. Als solche hat man Zellstoff bei Tieren noch niemals gefunden, doch ist er sonst mit all seinen von der Pflanzenzelle her bekannten Eigenschaften in dem Mantel von Weichtieren, Ascidien, nachgewiesen.

So existiert also, wie es bisher scheint, keine absolute Scheidung zwischen Pflanzen und Tieren dem Stoffe und dem allgemeinsten Verhalten des Protoplasmas nach. Gegen eine absolute Trennung scheinen auch gewisse niedrige belebte Formen zu sprechen, über deren Stellung im System, ob sie zu den Pflanzen oder Tieren zu rechnen seien, bisher noch keine vollkommene Einigung unter den Autoren erzielt werden konnte. Doch vermindert sich die Anzahl dieser unbestimmten Wesen von Jahr zu Jahr, je weiter ihre genaue Untersuchung fortschreitet.

Immerhin wird es uns gestattet sein, bei den sich überall ergebenden Ähnlichkeiten zwischen animalem und vegetabilem Leben auch die Erfahrungen der Botaniker über die Lebensvorgänge in den Pflanzenzellen zur Erklärung oder wenigstens zur Beleuchtung der Erscheinungen des animalen Zellenlebens und damit des Lebens des menschlichen mütterlichen Keimes herbeizuziehen. Da erscheinen nun die weiblichen Keime namentlich von niedrig stehenden Pflanzen, z. B. von gewissen Meeresalgen, Fukaceen, den Grundformen des animalen Lebens in so vielen Beziehungen analog, daß gewissermaßen nur ihre schließlich zur Bildung eines zusammengesetzten Pflanzenkörpers führende Entwickelung den Mikroskopiker belehrt, wohin diese nackten Zellen morphologisch gestellt werden müssen. In mehrfachen Beziehungen gingen die Entdeckungen in der Morphologie und Physiologie der Pflanzen den entsprechenden bei den animalen Wesen voraus, und noch immer ist in manchen Richtungen die Beobachtungsmöglichkeit bei den Pflanzen eine freiere. So kam es, daß bisher namentlich bei der Frage nach der Neubildung, der Entstehung von Zellen und Keimen und den dabei sich zu erkennen gebenden inneren Differenzierungen des Protoplasmas den botanischen Entdeckungen eine besonders hohe erklärende Bedeutung zukam.

Ehe wir aber zu dieser außerordentlich wichtigen Frage fortschreiten, haben wir vorerst noch einen Blick zu werfen auf die Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten jener Gebilde, welche als mütterliche Keime bei den animalen Organismen die Hauptgrundlage des neu sich entwickelnden Körpers bilden.

Vergleichung des Menschen-Eies mit dem Tier-Ei.

Wir finden nirgends bei den Bildungen der Natur, weder in der anorganischen noch organischen Welt, einen einfachen, ungestörten Schematismus. Bei absoluter Festhaltung des gleichen Bewegungs- und Gestaltungsgesetzes, z. B. bei den Himmelskörpern unseres Sonnensystems, sehen wir überall die größte Freiheit in der Einzelbildung walten. Nach demselben mechanischen Gesetze sind alle Einzelglieder unseres Planetensystems entstanden, geformt und

bewegt, und doch müssen wir sie in eine Anzahl verschiedener Gruppen oder Reihen trennen, deren Glieder unter sich eine größere Ähnlichkeit besitzen als mit den Angehörigen der anderen Gruppen. Aber auch innerhalb derselben Gruppe vermissen wir überall jene unserem Geiste als höchste Vollkommenheit vorschwebende absolute Gleichheit oder regelmäßig fortschreitende Entwickelung. Sternschnuppenschwärme, Kometen, Planeten, Trabanten umkreisen als ähnliche Bildungen in gesetzmäßig geordneten Bahnen den Zentralkörper; aber keines der Glieder dieser vier verschiedenen Hauptreihen unserer Weltkörper gleicht in Masse, Gestalt, Bewegung dem anderen vollkommen, jedes behauptet eine individuell von den anderen verschiedene Existenz.

Die Erfahrung, daß die Wirkung des absolut gleichen, ausnahmslos gültigen Bildungsgesetzes doch mit der Entwickelung äußerst verschiedener Formen im einzelnen vereinbar ist, machen wir bei dem Studium der Bildung der Himmelskörper ebenso wie bei dem der unter unseren Augen aus einer Lösung, die ihre chemischen Bestandteile enthält, aus einer Mutterlauge, sich ausscheidenden Kristalle.[1]

Die absolute Regelmäßigkeit, welche wir für die aus unseren Werkstätten hervorgehenden Gebilde als den Ausdruck ihrer höchsten Vollkommenheit anstreben, finden wir bei den Erzeugnissen der Natur nirgends. Wir erkennen oder ahnen wenigstens vielfach ein einheitliches Gesetz der natürlichen Formbildungen, aber innerhalb dieses Gesetzes sehen wir die Natur mit einer unbeschränkten Freiheit schalten, welche zur Hervorbringung jener Menge gesetzmäßig zusammengehöriger, aber im einzelnen doch tausendfältig verschiedener Formbildungen führt.

Diese Erfahrung, welche wir zunächst aus den Erscheinungen der anorganischen Welt abgeleitet haben, finden wir auch in hohem Maße bei der eindringenden Untersuchung der Gebilde der organischen Natur bestätigt, die, obwohl nach einem einheitlichen Grundgesetz gebaut, doch in der Form so tausendfach verschieden sind. Bei dem Tiere wie bei der Pflanze ist das Leben an einen Stoff, das Protoplasma, geknüpft, das in beiden Reichen die durchschlagendsten Ähnlichkeiten in Zusammensetzung und Funktionierung erkennen läßt. In beiden Reichen sehen wir als erste ausgebildete Grundgestalt des Lebens die Zelle auftreten und den höher entwickelten Organismus aus Zellen erbaut, und doch entsteht aus diesen gleichartigen Bauelementen eine Welt von Mannigfaltigkeit. Ein jedes der einander im Bauplan entsprechenden Gebilde ist doch von dem anderen in der Bauausführung verschieden.

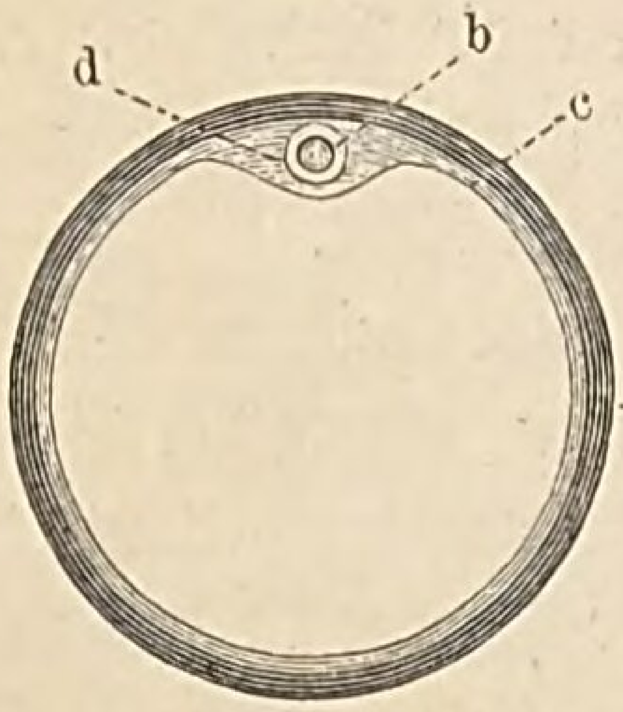
Diese allgemein sich geltend machende, die Werke der Natur charakterisierende Freiheit in der Formbildung, welche der Fesseln des einheitlichen Gesetzes zu spotten scheint, spricht sich schon in den Keimen aus, aus welchen sich die animalen Wesen entwickeln. Den mütterlichen Keim des Menschen, das Ovulum, das Ei, haben wir oben auch in seiner reifen Ausbildung als eine relativ mächtige Zelle bezeichnet. Die niedrigsten Tiere bleiben zeit ihres Lebens funktionell und dem Bau nach auf dem Stadium der Einzelligkeit, aber auch bei allen anderen tierischen

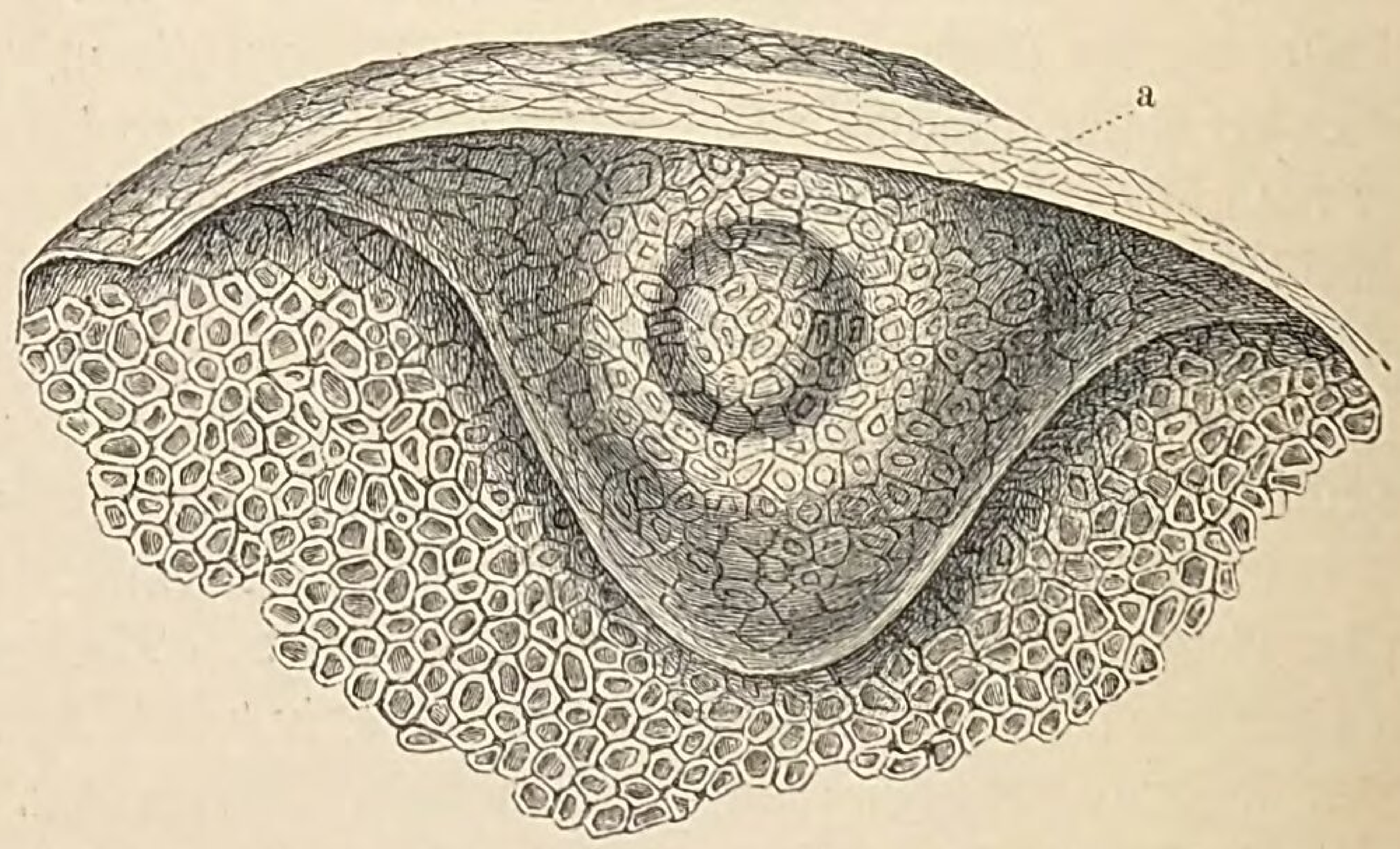
---

[1] In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle findet sich in der Natur z. B. der kohlensaure Kalk als Calcit oder Kalkspat kristallisiert, bekanntlich nach dem Formbildungsgesetz des hexagonalen Kristallsystems meist rhomboedrisch gestaltet. Aber man kennt von Kalkspat nach Zippe 41 verschiedene Rhomboeder, 85 verschiedene Skalenoeder, 7 hexagonale Pyramiden; diese verschiedenen Formen treten nun noch in den mannigfachsten Verbindungen oder Kombinationen auf, so daß dadurch nach Naumann 750 bis jetzt bekannte verschiedene Gestalten, abgesehen von den zahlreichen Zwillingsbildungen, entstehen. Aber damit ist der formbildenden Individualisierung der anorganischen Natur noch nicht Genüge geleistet. Derselbe einfache Stoff, kohlensaurer Kalk, tritt auch als Aragonit nach einem vollkommen anderen Kristallbildungsgesetz, nach dem rhombischen Kristallsystem, geformt auf, dessen Gesetzmäßigkeit sich auf das hexagonale System mathematisch nicht zurückführen läßt. Auch der Aragonit findet sich in verschiedenen Formen und sehr mannigfachen Kombinationen, man kennt von ihm Zwillings-, Drillings-, Vierlings-, ja Sechslingskristalle.

Wesen lassen sich die ersten Anfänge ihrer Existenz auf Eine Zelle zurückführen. Das ist das allgemein und ausnahmslos gültige Gesetz. Trotzdem zeigen sich die reifen Keime in Bau und Leben außerordentlich verschieden.

In den mütterlichen keimbereitenden Organen entwickelt sich bei dem Menschen wie bei den Säugetieren eine der zahlreichen Zellen eines Graafschen Bläschens oder Follikels (s. untenstehende Abbildung), rings eingehüllt und umlagert von anderen ihr, wie es scheint, in ihrer ersten Anlage gleichartigen Zellen, den Follikelzellen, zur weiblichen Keimzelle. Sie hebt sich zunächst durch gesteigerte Größe aus dem Kreise der Nachbarzellen hervor. Ihr großer, bläschenförmiger Kern, das Keimbläschen, in welchem sich auch schon das Kernkörperchen, der Keimfleck, deutlich abhebt, ist von einer ziemlich bedeutenden und mehr und mehr anwachsenden Schicht von Protoplasma, dem Hauptdotter, umgeben, der, wie wir wissen, eine amöbenartige Fähigkeit der Gestaltsveränderung besitzt. Die weitere Ausbildung der Keimzelle erfolgt nun teilweise





1) Ein Graafscher Follikel: a) Follikelhülle, b) Ei, c) Follikelhöhle, d) Zellenhügel, der das Ei umgibt. 2) Der Zellenhügel stark vergrößert; seine Zellen umhüllen das nur durchschimmernde Ei a.

auf Kosten und durch Beteiligung der dieselbe umlagernden Follikelzellen. Manches scheint auch dafür zu sprechen, daß sich die Follikelzellen an dem Anwachsen des Hauptdotters durch direkte Abgabe und Verschmelzung ihres Protoplasmas beteiligen, wodurch endlich die Keimzelle die größte Masse Protoplasma erhält, welche zur Bildung einer Zelle einen einzelnen Kern, das Keimbläschen, umlagert, oder mit anderen Worten, wodurch sie zur größten bekannten einkernigen Zelle wird. Aber das steht, wie wir annehmen dürfen, fest, daß das Material zu jener relativ dicken, hautartigen Bildung, zur durchsichtigen Zone, welche den reifen mütterlichen Keim des Menschen und der Säugetiere umschließt, von jenen den Keim bei seiner Bildung umlagernden Zellen geliefert wird. Durch diese Entstehungsart erscheint auch das Ei der höchsten animalen Tierformen gewissermaßen als ein zusammengesetztes Gebilde.

Bei jenen Wirbeltieren, bei welchen das Ei seine Entwickelung außerhalb des mütterlichen Körpers zu durchlaufen hat, wird dasselbe zum Zweck der notwendigen Ernährung und des Schutzes in den ersten Stadien des freien Lebens mit verschiedenartigem Stoffmaterial und mannigfachen zum Teil festen Hüllen ausgestattet. Die Eier der Vögel, aber ähnlich auch die der Reptilien, Amphibien und Fische und eine große Anzahl von Eiern wirbelloser Tiere bestehen nicht nur aus dem eigentlichen mütterlichen Keime, welcher, wie bei den Säugetieren und dem Menschen, aus einer Keimzelle hervorgegangen ist, sondern es ist dort der eigentliche Keim umhüllt und eingebettet in verschiedener Weise in verschiedenes Material.

Das reife Ei der Vögel zeigt sich uns, solange es sich noch im mütterlichen Keimorgan befindet, als eine umfangreiche, vorwiegend gelbe Masse, gelber Nahrungsdotter, eingehüllt von einer eignen Hautbildung, der Dotterhaut. Seine Oberfläche wird von einer Schicht weißer Dottermasse, weißem Nahrungsdotter, gebildet, der sich unter der später zu besprechenden Keimscheibe als ein dünner Faden gegen die Mitte des gelben Dotters einsenkt und hier zu einer etwa erbsengroßen, kugeligen Masse anschwillt. Der weiße und gelbe Dotter sind es, welche nach unseren obigen Angaben als Neben- oder Nahrungsdotter von dem Bildungsdotter des Eies unterschieden werden. Dicht unter der Dotterhaut, bei ruhiger Gleichgewichtslage des Eies immer oben schwimmend, findet sich im Nahrungsdotter, auf eine dickere Schicht weißen Dotters gebettet, ein etwa 3—4 mm im Durchmesser haltender weißlicher, linsenförmiger Fleck, die Keimscheibe, der Hahnentritt. Er ist nichts anderes als der eigentliche, hier scheibenförmig gestaltete mütterliche Keim, dem Menschen-Ei entsprechend, mit Hauptdotter und Keimbläschen. Der Nahrungsdotter entsteht nach den Untersuchungen ausgezeichneter Mikroskopiker aus dem Protoplasma der die Keimzelle primär auch bei den Vögeln umhüllenden Follikelzellen.

Die Eier der Fische, Amphibien und Reptilien lassen meist, wie die der Vögel, Haupt- und Nebendotter unterscheiden. Die Entstehung der letzteren scheint überall im wesentlichen in gleicher Weise zu verlaufen. Auch bei den froschähnlichen Tieren lassen die Beobachtungen vermuten, daß, obwohl sich bei dem reifen Ei eine deutliche Trennung von Haupt- und Nebendotter nicht nachweisen läßt, doch auch eine Beteiligung der Follikelzellen an der Bildung des Dotters stattfindet. Die Eier der Vögel werden nach dem Austritt aus dem mütterlichen Keimorgan, dem Eierstock, noch von jener Eiweißschicht, dem Weißen des Eies, und den bekannten äußeren Eihüllen, Eihäutchen und Kalkschale, umlagert.

Bei niedrigen wirbellosen Tieren begegnen wir zum Teil Formen, welche wesentlich an die Eier der Säugetiere und des Menschen erinnern. Bei den zu den Stachelhäutern gehörenden Holothurien (s. Abbildung, S. 84) finden wir z. B. Eier mit körnigem Protoplasma und Keimbläschen, umgeben von einer dicken Dotterhülle, welche, wenn auch im Bau von ihr verschieden, doch der durchsichtigen Zone der mütterlichen Säugetierkeime sehr ähnlich sieht. Diese Gallertschicht zeigt eine sehr ausgesprochene radiäre Streifung und läßt auch eine größere Öffnung erkennen, welche an sehr ausgebildete ähnliche Öffnungen, an die sogenannten Mikropylen, erinnert, die wir an der Schalenhaut der Eier vieler wirbelloser Tierformen, namentlich auch an Insekteneiern, antreffen.

Die Eier aus den systematischen Abteilungen der Würmer, Weichtiere, Stachelhäuter und Polypen schließen sich mehr oder weniger entschieden in Form und Aussehen dem Typus der weiblichen Keime der Säugetiere an; doch kommen vielfach auch solche mit Nahrungsdotter und sogar noch höher zusammengesetzte Eier vor.

Bei manchen Insekten entspricht das Ei einer einfachen Zelle, so bei den Geradflüglern, den Libellen, den Puliciden; bei anderen bildet sich das Ei in höchst wunderbarer Weise durch Zusammentreten mehrerer Zellen. Die eine der das Ei bildenden Zellen ist die wahre mütterliche Keimzelle, jener der übrigen Tierformen entsprechend; die anderen werden als Dotterbildungszellen oder Ei-Nährzellen bezeichnet. Weismann sah mehrfach die letzteren Zellen mit der eigentlichen Keimzelle zu einem einheitlichen Ganzen verschmelzen. Bei den blattlausartigen Tieren ergießt sich nach den Beobachtungen Leydigs der Inhalt der Dotterbildungszellen durch besondere hohle Stiele in die wahre Keimzelle und bildet dann mit dieser ein Ganzes. Übrigens sind auch für die Eibildung bei manchen Wirbeltieren ähnliche Angaben aufgetaucht. So deutet Götte seine Beobachtungen über die Eientstehung bei der Feuerkröte dahin, daß das Ei dieses Tieres nicht aus einer Zelle, sondern durch Verschmelzung mehrerer Zellen sich bilde. Nach His

soll bei Fischeiern ein Teil des Dotters von Gewebszellen (Bindesubstanzzellen) des Eierstockes herstammen, welche in das Ei aktiv einwanderten. Von einer vollkommenen Übereinstimmung der reifen mütterlichen Keime der Tiere bezüglich des Baues kann also keineswegs die Rede sein. Das Ei ist im reifen Zustande fast immer ein mehr oder weniger kompliziertes Gebilde, aus der gemeinschaftlichen Thätigkeit mehrerer Zellen hervorgegangen.

„Im einzelnen betrachtet", sagt O. Hertwig, „weichen die Eier der verschiedenen Tierarten in hohem Grade voneinander ab, so daß sie wohl als die für die Art am meisten charakteristischen tierischen Zellen betrachtet werden müssen." Außer der Größe, in welcher sie um das Millionenfache differieren können, wie z. B. das Säugetier-Ei und das Hühner- oder gar Straußen-Ei, ist auch ihre Form nicht überall gleich, meist sind sie kugelig, manche sind aber oval oder cylindrisch. Andere Verschiedenheiten ergeben sich aus der verschiedenen Beschaffenheit und der verschiedenen Verteilung des Paraplasmas (Deutoplasmas) und des eigentlichen Eiprotoplasmas (s. oben, S. 60, Anmerkung), dazu kommt die wechselnde feinere Struktur des Keimbläschens und die große Verschiedenartigkeit der Eihüllen. Einige dieser auffallenden Differenzen hat man zu einer Einteilung der so verschiedenen Eiarten benutzt. So unterscheidet man einfache und zusammengesetzte Eier. Die letzteren, welche nur in wenigen Abteilungen der wirbellosen Tiere vorkommen, bauen sich durch Zusammenfügen mehrerer Zellen auf: der eigentlichen Eizelle und Dotterzellen. Die einfachen Eier entwickeln sich aus einer einzigen Keimzelle; zu ihnen gehören die Eier aller Wirbeltiere und der meisten Wirbellosen. Je nachdem im Gesamtprotoplasma, dem Eileib, das eigentliche Protoplasma und das Paraplasma (Deutoplasma) verteilt ist, ergeben sich drei Hauptformen. Entweder sind 1) beide Plasmaarten im Eileib, wie bei dem Ei der Säugetiere und der Menschen, ziemlich gleichmäßig verteilt: Eier mit gleichmäßig verteiltem Dotter, oder 2) das Paraplasma steht an dem einen, das eigentliche Protoplasma an dem anderen Pol (dem animalen Pol) des Eies: Eier mit polständigem Nahrungsdotter, oder 3) das eigentliche Protoplasma bildet der Hauptmasse nach die Außenschicht, das Paraplasma den Kern des Dotters: Eier mit mittelständigem Nahrungsdotter. Auch das Keimbläschen der Eier zeigt sich sehr verschieden, es ist das größte Kerngebilde des animalen Organismus und steht in einem gewissen Wechselverhältnis zu der so außerordentlich differenten Größe des Eies. Auch sein Bau zeigt sehr auffallende Differenzen, so ist z. B. die Zahl der Keimflecke in den Keimbläschen sehr verschieden, aber für jede einzelne Eiart ziemlich konstant, ihre Anzahl schwankt von einem (beim Menschen) bis zu sehr vielen (z. B. beim Frosch).

Die Ursache der spezifisch verschiedenen Formbildungen der animalen Wesen liegt zu einem Teil in einer spezifischen, in Formbildung und chemischer Mischung sich zu erkennengebenden Verschiedenheit der Keime, aus denen sie hervorgehen, zum anderen Teil in der Verschiedenheit der mechanischen Anstöße, der Erregung, welche die Eientwickelung einleiten. Das Protoplasma, aus welchem sich die verschiedenen Gestaltungen des Lebens bilden, zeigt in wesentlichen Zügen eine unverkennbare Übereinstimmung. Je näher sich die fertig entwickelten animalen oder pflanzlichen Wesen stehen, um so ähnlicher ist im allgemeinen auch der lebende Stoff ihrer primitiven Keime und der Bau der letzteren. Aber da mit vollkommener Regelmäßigkeit aus einem bestimmten Keime und Keimmaterial sich ein Individuum einer bestimmten Art entwickelt, so sind wir gezwungen, uns diesen notwendigen speziellen Entwickelungsgang durch besondere voraus existierende Eigentümlichkeiten des Stoffes und der mechanischen Bewegung der betreffenden Keime und ihres Protoplasmas bedingt zu denken.

Es steht fest, daß die Eier der Säugetiere nicht nur untereinander, sondern auch dem mütterlichen Keime des Menschen sehr ähnlich sind. Aber eine vollkommene Gleichheit existiert nicht.

Je weiter wir unsere Sinne schärfen, desto deutlicher treten uns diese Differenzen entgegen. Die Eier des Menschen, der Kuh, des Hundes, Schweines, Kaninchens, der Katze, Ratte, Maus und Maulwurfs lassen nach den sorgfältigsten Messungen und Zeichnungen Bischoffs bei derselben 400maligen Vergrößerung sowohl in ihrer Größe als in der Dicke der durchsichtigen Zone, namentlich aber in der Zusammensetzung des Dotters, in seinen Eiweißkörnern und Körnchen, Bläschen und Fetttröpfchen des Paraplasmas, nicht unbedeutende Unterschiede wahrnehmen, in welchen sich auch morphologisch die physiologisch feststehende Thatsache ausspricht, daß die Eier der verschiedenen Tierarten spezifisch verschieden sind. Sehr fettreich sind nach R. Bonnet z. B. die Eier der Katze, des Hundes und des Schweines; in den Ovarialeiern des Schafes fand derselbe Forscher neben Fetttröpfchen oft 100—150 relativ große, kugelige, glänzende Eiweißkörner.

Physiologisch läßt sich der Zusammenhang der speziellen Bildungsfähigkeit des Eies mit der Mischung und Bewegung des Protoplasmas jeden Augenblick durch das Experiment der künstlichen Bastardierung bei Pflanzen und Tieren erweisen. Wir vermögen dabei durch eine absichtlich von uns gewollte spezifisch veränderte Mischung der Keimsubstanz und zwar in sehr verschiedener Weise einen spezifisch veränderten Entwickelungsgang mit einem im allgemeinen sicher voraus zu bestimmenden Endresultat hervorzurufen.

Fassen wir das Resultat unserer bisherigen Betrachtungen zusammen, so erkennen wir in dem mütterlichen Keime des Menschen, in dem menschlichen Ei, im wesentlichen eine Zelle, den Grundtypus des frei lebenden animalen Organismus. Das allgemeine Bildungsgesetz des animalen Lebens tritt uns schon auf dieser untersten Stufe der Formentwickelung entgegen und spricht sich darin aus, daß alle weiblichen animalen Keime, wie der des Menschen, primär aus einer nackten Zelle mit einfachem, bläschenförmigem Kerne, Keimbläschen, hervorgehen. Aber auch schon an dieser Stelle haben wir die Freiheit anzustaunen, mit welcher die Natur innerhalb ihres einheitlichen Wirkungsprinzips, und ohne dessen Grenzen irgendwie zu überschreiten, zahllose Wege und Mittel findet, ihre Einzelbildungen so weit voneinander zu unterscheiden, daß es oft schwer hält, von einem zum anderen die gesetzmäßig vorhandene Verbindungsbrücke zu finden.

---

2. Befruchtung und Ei-Entwickelung.

Inhalt: Die Bildung neuer Zellen. — Die Befruchtung der kryptogamen Pflanzen. — Die Grunderscheinungen der Befruchtung bei den animalen Wesen. — Die Gestalt der animalen männlichen Keime. — Die inneren Vorgänge im Protoplasma des mütterlichen Keimes vor und direkt nach der Befruchtung. — Der Furchungsprozeß des Säugetier-Eies. — Einzelleben der Gewebszellen und Umbildung der Zellformen.

Die Bildung neuer Zellen.

Auf allen Gebieten des geistigen Lebens wiederholt sich wie eine Naturnotwendigkeit die gleiche Erscheinung, daß neue, neue Bahnen brechende, über bisher dunkle Gebiete ein überraschendes Licht verbreitende Gedanken und Lehren, welche auf die der Sache ferner Stehenden unbedingt den Eindruck einer erlösenden That hervorbringen, von den eigentlichen Männern von Fach nicht nur mit kühler Reserve aufgenommen werden, sondern nicht selten, wenigstens in ihrer anfänglichen Gestalt, eine oft unverdiente vollkommene Zurückweisung erfahren.

Diese Wahrnehmung hängt mit der anderen zusammen, daß große Neuerungen in den Wissenschaften nicht immer von Fachmännern ausgehen, sondern oft von solchen, welche in höherem

oder geringerem Grade als Laien in dem betreffenden Fache erscheinen. Beispiele für diesen Satz ließen sich auch im Gebiet der Naturwissenschaften mit Leichtigkeit häufen. Wem durch gewissenhafte Beschäftigung mit den tausenderlei Einzelheiten einer Frage die Schwierigkeiten, die einer Beantwortung entgegenstehen, in ihrer vollen Ausdehnung bewußt sind, der wird sich durch einen glänzenden, frappierenden Einfall nicht sofort bestechen lassen. Erst nachdem dieser der eingehendsten Prüfung nach allen Seiten unterworfen worden ist und nach jeder Richtung standgehalten hat oder in entsprechender Weise modifiziert worden ist, sehen wir ihn in die Wissenschaft als dauernden Besitz aufgenommen. Aber wie oft gelingt das nicht, ohne daß ihm die Flügel, die scheinbar geeignet waren, ihn über ein weit ausgedehntes Gebiet hin zu tragen, beträchtlich gekürzt worden sind. Nur eingefügt als thätiges Glied in den Mechanismus unseres Wissens vermag er in dieser Unterordnung unter das Ganze seine ihm innewohnenden Kräfte voll zu entfalten.

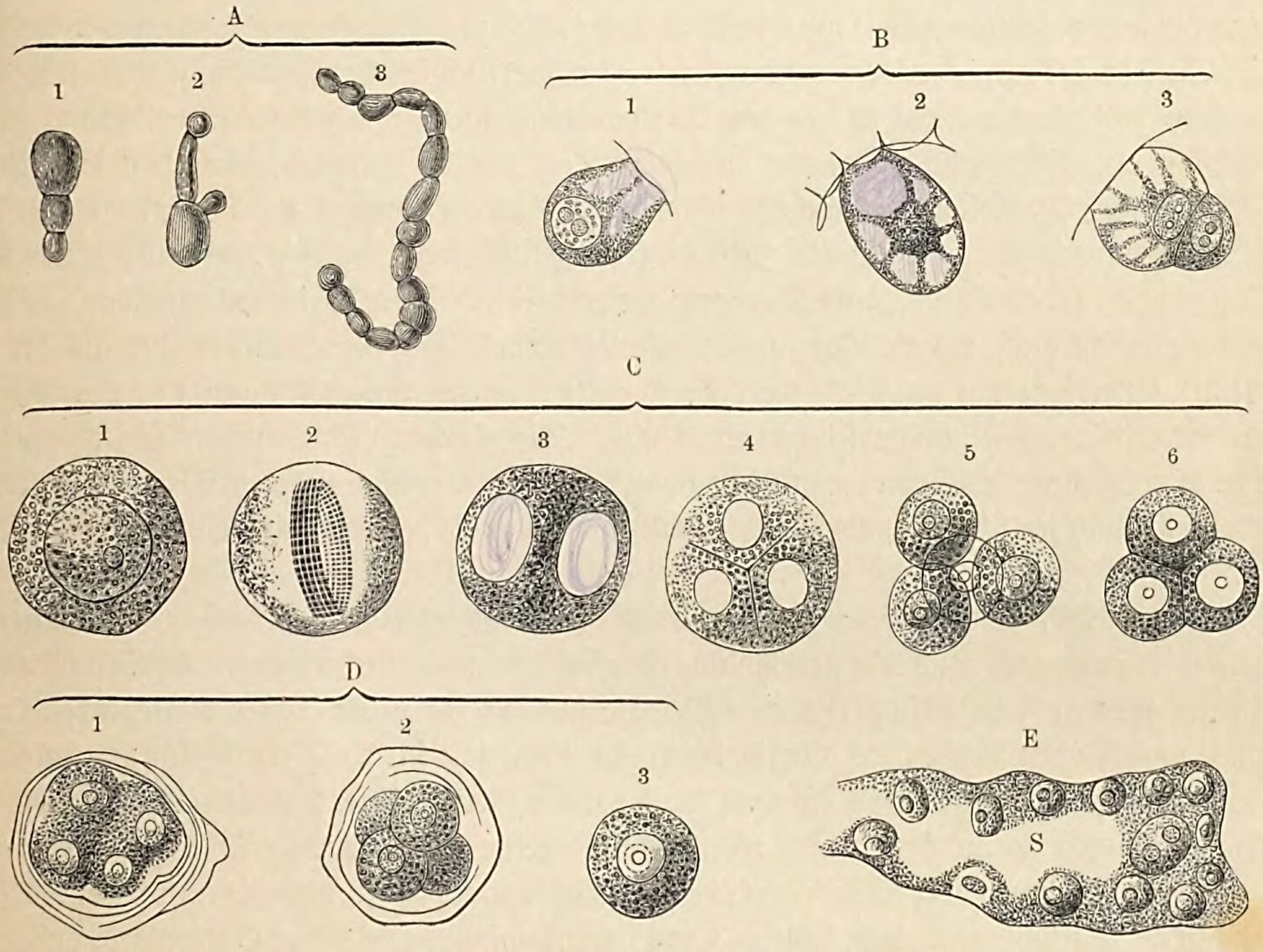
Auch die Lehre, daß die Zelle als der Grundtypus der Organisation anzusprechen sei, fand eine Zeitlang Widerstand von seiten ausgezeichneter Forscher und Gelehrten. Der Gedanke, daß die zusammengesetzten Bildungen des tierischen Organismus aus gleichartigen belebten Urteilchen beständen oder wenigstens aus solchen sich herleiteten, wurde anfänglich theoretisch in einem gewissen Zusammenhang mit der Leibnizschen Monadentheorie ausgesprochen. Schon im Jahre 1805 begegnen wir ihm in dem Werke über Zeugung bei Oken. Seine Urteilchen sind Bläschen; in dem Programm über das Universum (1808) sagt er: „Der erste Übergang des Unorganischen in das Organische ist die Verwandlung in ein Bläschen, das ich in meiner ‚Zeugungstheorie' Infusorium genannt habe. Tiere und Pflanzen sind durchaus nichts anderes als ein vielfach verzweigtes oder wiederholtes Bläschen." Buffon glaubte, daß solche anfänglich gesonderte belebte Urteilchen sich zu größeren Organismen zusammenfügen könnten. Als die Zellenlehre durch Valentin, Schleiden und Schwann nun thatsächlich begründet an das Licht trat, hatte sie, obwohl jetzt auf exakte Forschung und wirkliche Beobachtung gestützt, doch noch etwas von der Eierschale der älteren Naturphilosophie an sich, welche sie, der Beobachtung vorgreifend, auf spekulativer Grundlage aufgestellt hatte. Nach der Lehre Okens sollten seine Urbläschen oder Infusorien aus einem flüssigen, unorganisierten Bildungsmaterial, seinem „Urschleim" entsprechend, entstehen, welcher die chemischen Stoffe zur Bildung des primitiven Organismus in Lösung enthalte. Ganz ähnliche Anschauungen wurden im Anfang auch noch über die Entstehung der Zelle vorgetragen.

Nach der Lehre der Begründer der Zellentheorie sollten zwei verschiedene Arten der Entstehung der Zelle anzunehmen sein. Entweder bilde sich die neue Zelle im Anschluß an eine schon vorhandene Zelle, eine Mutterzelle, als Tochterzelle aus, oder die Zelle entstehe durch freie Zellbildung aus den unorganisierten, flüssigen Urstoffen.

Bei der freien Zellbildung sollte die Zelle sich, etwa wie ein Kristall aus der Mutterlauge, aus der zur Abscheidung von Zellen geeigneten Flüssigkeit absetzen, für welch letztere man den Namen Cytoblastem (Kernbildungssubstanz) bereit hatte. Geradezu wurde die Zelle als die Kristallform ihrer organisch-chemischen Bildungsstoffe bezeichnet. Die Lehre von der freien Zellbildung hat sich wissenschaftlich nicht halten können; R. Virchow formulierte die Erfahrungen der Wissenschaft in dem Satze: „Jede Zelle entsteht aus einer schon vorhandenen Zelle" („omnis cellula e cellula"). Die exakte Wissenschaft kennt keine freie, von Mutterzellen unabhängige Zellbildung, ebensowenig wie sie die Entstehung neuer Tiere oder Pflanzen ohne Anschluß an elterliche Organismen kennt.

Der durch Beobachtung festgestellte Vorgang der Zellvermehrung, auf welche nach dem eben Gesagten jede Neuentstehung einer Zelle zurückzuführen ist, erscheint, wenn wir dabei von den

stattfindenden inneren Vorgängen im Protoplasma, von denen erst unten die Rede sein wird, zunächst absehen, ganz außerordentlich einfach. Jede Neubildung einer Zelle läßt sich im Grunde auf eine Teilung des schon vorhandenen lebenden Materials zurückführen. Doch sind die Erscheinungsweisen auch dieses Vorganges, wie jeder organischen Funktion, bei verschiedenen tierischen und pflanzlichen Wesen keineswegs identisch. In einigen Fällen besteht bei niedrigen Pflanzen diese Teilung darin, daß ein ganzer Protoplasmakörper einer Zelle aus dem gesamten Mutterorganismus auswandert, um ein selbständiges Leben zu beginnen. Im allgemeinen sehen wir aber die Teilung an dem Protoplasma einer einzelnen Zelle, einer Mutterzelle, verlaufen.



Vorgänge der Zellteilung bei den Pflanzen.
A 1, 2, 3) Flechtengonidien, in Vermehrung durch Sprossung begriffen. B 1, 2) Eizellen von Funkia cordata vor der ersten Teilung, 3) nach der ersten Teilung. C) Sporenbildung von Equisetum limosum (550fache Vergrößerung): 1) eine Mutterzelle, 2) eine solche in Vorbereitung zur Zweiteilung, 3) eine solche mit zwei Kernen, 4, 5, 6) Teilung in vier Sporen. D) Pollenbildung von Althaea rosea: 1, 2) Vierteilung einer Pollenmutterzelle, 3) eine der vier jungen Pollenzellen frei. E) Hinterer Abschnitt des Embryosackes von Viola tricolor, der Saftraum S ist mit Protoplasma umgeben, in welchem junge Endospermzellen entstanden sind.

Als einfachster Typus der Teilung der Zellen erscheint eine durch eine zuerst ringförmig den Äquator der kugelig gedachten Zelle umgreifende Furche eingeleitete Abschnürung zweier gleichgroßer und gleichgestalteter Hälften; die Mutterzelle zerfällt dadurch ohne weiteres in zwei ihr ganz ähnliche Tochterzellen (s. oben Fig. B, C). In anderen Fällen leitet sich die Teilung durch die Bildung einer kleineren, erst nach und nach zur Tochterzelle anwachsenden Knospe am Mutterkörper ein (Fig. A 1, 2). In verschiedener Weise kann dann die Abtrennung der letzteren erfolgen: entweder erst dann, wenn die aus der Knospe erwachsene Zelle der Mutterzelle entsprechend fertig gebildet ist, oder schon, wenn erstere sich in einem noch unreifen Zustande befindet. Man hat diese Art der Zellvermehrung als Knospung oder Sprossung von der durch Teilung unterscheiden wollen, aber beide gehen ohne scharfe Grenze ineinander über. Die Unterschiede zwischen Zellsprossung und Zellteilung lassen sich im wesentlichen auf die verschiedene Menge

Protoplasma reduzieren, welche von der Tochterzelle aus der Mutterzelle direkt herübergenommen wird; die Unterschiede sinken also auf quantitative Verhältnisse herab.

Bei Zellen, welche von einer Zellmembran umschlossen sind, gewinnt die durch Teilung des Protoplasmas erfolgende Neubildung von Zellen ein eigentümliches Aussehen, ohne aber im wesentlichen sich von den bisher besprochenen Verhältnissen zu unterscheiden. In diesem Falle nimmt oft die Zellmembran keinen Anteil an der Neubildung, die Tochterzellen bleiben zunächst von der alten Zellhaut der Mutterzelle umschlossen und müssen diese Hülle sprengen, um frei zu werden, wenn sich dieselbe nicht aus anderen Ursachen auflöst. Auch innerhalb der Zellmembran kann die Zellneubildung in verschiedener Weise verlaufen. Entweder geht die Gesamtmasse des Protoplasmas der Mutterzelle sofort vollkommen in der neuentstandenen Nachkommenschaft auf (s. S. 75, Fig. D1, 2), oder es kann auch, wie es namentlich bei der Fortpflanzung von Blütengewächsen beobachtet worden ist, in dem Protoplasma einer großen Zelle eine Bildung neuer, zunächst in die Mutterzelle eingebettet bleibender Tochterzellen auftreten, ohne daß die Mutterzelle sofort ihre Individualität aufgibt (Fig. E). Dieser Vorgang, der in einigen oberflächlichen Beziehungen an die ehemals gelehrte „freie Zellbildung" anklingt, wird als „endogene" Zellbildung von der Teilung und Knospung unterschieden. Aber es ist unbestreitbar, daß sich auch diese Erscheinung als ein Vorgang der Protoplasmateilung charakterisiert, der als der allgemein gesetzmäßige sich unter all den hier nur angedeuteten tausendfältigen Einzelverschiedenheiten der Zellneuentstehung wiedererkennen läßt. Die gleiche, höchst einfache Gesetzmäßigkeit, welche wir bei der Neubildung von Zellen im Pflanzen- wie im niederen Tierreich antreffen, werden wir auch im Organismus des Menschen und aller Säugetiere mit vollkommenster Deutlichkeit walten sehen.

Aber die Fähigkeit zur Erzeugung einer Nachkommenschaft erhält jede Zelle erst durch gewisse innere Umwandlungen, und sehr gewöhnlich bedarf es dazu einer Verbindung, einer Verschmelzung mit einer anderen Zelle. Auch das eben Gesagte gilt für die Zellen beider die lebenden Organismen umfassenden Reiche. Es gilt für die Pflanzenzelle wie für die Tierzelle, für das Pflanzen-Ei wie für das Tier-Ei und ebenso auch für die niedrigsten, während ihres ganzen Lebens sich von einer Einzelzelle im Bauprinzip nicht unterscheidenden Tierchen, deren Lebensäußerungen und Thätigkeiten uns bisher schon so wichtige Aufschlüsse erteilt haben über die entsprechenden Vorgänge in all den zahllosen, einen höheren Organismus zusammensetzenden Elementarorganismen.

Die Befruchtung der kryptogamen Pflanzen.

Bei den Pflanzen ist die Neuentstehung, die Fortpflanzung der Zellen, in sehr vollkommener Weise erforscht. Wir können bei der Frage nach der ersten Formbildung der Organismen von den für die Pflanzen festgestellten Ergebnissen ausgehen, da die thatsächlichen Verhältnisse im Pflanzen- und Tierreich auch in dieser Beziehung im Prinzip die ausgesprochenste Übereinstimmung erkennen lassen.

Die Entstehung der neuen Pflanzenzelle beginnt nach der Darstellung von J. Sachs mit der Neugestaltung eines Protoplasmakörpers um ein neues Bildungszentrum: das Material dazu wird immer von schon vorhandenem Protoplasma geliefert; der neuentstandene Protoplasmakörper umkleidet sich in der Folge früher oder später mit einer Zellhaut. Diese Vorgänge finden sich bei allen Neubildungen von Zellen im Pflanzen- wie im Tierreich wieder; weiter läßt sich aber, ohne in unrichtiger Weise schematisch zu werden, in der Verallgemeinerung der großen Mannigfaltigkeit der Einzelheiten, denen wir bei der Zellfortpflanzung begegnen, nicht gehen.

Die Botaniker unterscheiden drei Haupttypen der Zellbildung. Außerordentlich wichtig für die Vergleichung zwischen dem Entwickelungsvorgang bei Pflanzen und Tieren ist der erste Typus: die Erneuerung oder Verjüngung einer Zelle. Hier erfolgt die Bildung Eines neuen Elementarorganismus aus dem gesamten Protplasma Einer schon vorhandenen Zelle. Der zweite Entstehungstypus umfaßt jene im einzelnen mit sehr in die Augen fallenden Verschiedenheiten auftretenden Fälle, in welchen durch Verschmelzung, durch Konjugation, von zwei oder mehreren Protoplasmakörpern eine neue Zelle entsteht. Unter dem dritten Typus werden alle jene unter den mannigfaltigsten Abänderungen und Übergängen auftretenden Formen der Zellneubildung zusammengefaßt, welche sich als Vermehrung einer Zelle durch Erzeugung von zwei oder mehreren Protoplasmakörpern aus Einem durch Teilung charakterisieren lassen.

Diese drei typischen Vorgänge bei der Bildung neuer Zellen sind aber keineswegs gleichwertig. Der dritte Typus der Zellneubildung, die Zellteilung, ist im vegetabilen wie animalen Reiche überall verbreitet. Bei der Entwickelung eines höheren Organismus aus der Eizelle zerfällt diese Urmutterzelle in Tochterzellen, und auch im Verlauf des späteren Lebens sehen wir, daß das Wachstum und die Erneuerung der Organe im Zusammenhang mit dem Vorgang der Zellteilung erfolgen. Die Prozesse, welche in dem ersten und zweiten Typus der Zellneubildung zusammengefaßt werden, sind dagegen wesentlich nur als vorbereitende Stadien, als Einleitung zu dem Zellteilungsvorgang zu betrachten.

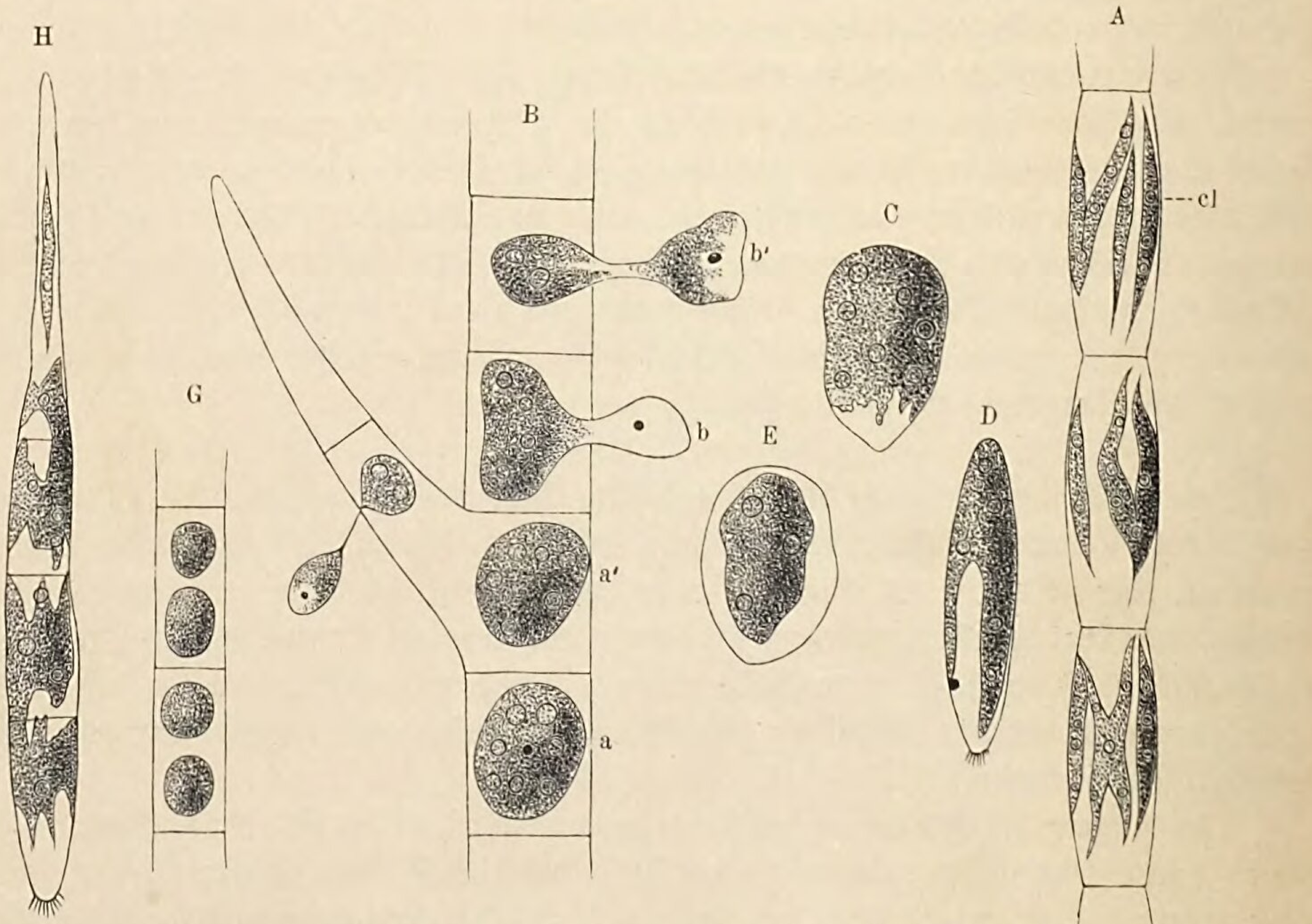
Jeder Zellteilung geht eine Neugestaltung des Protoplasmas voraus. Diese Neugestaltung kann entweder ohne Beteiligung einer zweiten Zelle allein in dem Protoplasma der Mutterzelle ablaufen, oder sie bedarf des Einflusses einer zweiten Zelle, welche in verschiedener Weise ihr Protoplasma dem der Mutterzelle zumischt. Erst nach erfolgter Erneuerung des Protoplasmas ist die Zelle überhaupt fähig, eine Selbstteilung vorzunehmen. Erneuerung der Zelle, mit oder ohne „Konjugation“, und Zellteilung sind also zeitlich aufeinander folgende Ereignisse, die an derselben Zelle eintreten.

Der Vorgang der Erneuerung des Protoplasmas in der Mutterzelle ohne aktive Beteiligung einer zweiten Zelle ist im allgemeinen die Erscheinungsweise der ungeschlechtlichen Fortpflanzung. Diese findet sich in der Natur teils für die Hervorbringung neuer komplizierter Organismen, Tiere wie Pflanzen, vielfach verwendet; ganz allgemein tritt sie aber, wie wir hörten, zum Zwecke der Bildung jener Zellen auf, welche, aus der primären Teilung der Keimzellen hervorgegangen, zur Bildung der Organe und Körperteile des höheren Organismus zusammentreten (s. S. 75, Fig. B1, 2, 3).

In der Verschmelzung, der Konjugation, zweier Protoplasmakörper zu einer Zelle, welcher dann in hohem Maße die Fähigkeit der Vermehrung innewohnt, sehen wir den allgemeinen Typus der geschlechtlichen Fortpflanzung. Hierbei verschmelzen die beiden Protoplasmamassen, von denen die eine als der weibliche, mütterliche, die andere als der männliche Keim bezeichnet wird, zu einem einheitlichen Körper, in welchem überdies auch noch jener Vorgang der Erneuerung des Protoplasmas stattfindet, welcher für die ungeschlechtliche Vermehrung typisch ist. Die Erneuerungserscheinungen, welche unten näher beschrieben werden sollen, treten vor jeder Vermehrung einer Zelle immer und ausnahmslos ein, mag eine Konjugation stattgehabt haben oder nicht. Ihnen haben wir also einen ganz besonderen Wert bei der Fortpflanzung zuzuschreiben.

Beide, geschlechtliche und ungeschlechtliche Vermehrung der Zellen, wechseln in jedem, auch dem höchsten Organismus, wo überhaupt sich geschlechtliche Vermehrung findet, miteinander in regelmäßiger Folge der Generationen ab. Durch ungeschlechtliche Vermehrung entsteht zunächst eine Generation von Zellen, die weiblichen und männlichen Keimzellen

oder Keime, welche ihre volle Fähigkeit zur weiteren Neubildung von Zellen erst in gegenseitiger Verschmelzung, d. h. mit anderen Worten in dem Akte der geschlechtlichen Befruchtung, erhalten. Infolge der Zellverschmelzung sehen wir Zellteilung eintreten. Die beiden aus den verschmolzenen Keimzellen hervorgegangenen Tochterzellen besitzen nun aber die Fähigkeit, lediglich durch Zellerneuerung, d. h. also durch ungeschlechtliche Vermehrung, neue Zellengenerationen zu bilden, denen fortgesetzt das gleiche Vermögen der ungeschlechtlichen Vermehrung eigen ist. So entstehen dann auch wieder neue Generationen von Keimzellen, die der gegenseitigen Befruchtung zur vollkommenen Entfaltung ihrer Entwickelungsfähigkeit bedürfen. Das ist also eine Art von **Generationswechsel**, eine Aufeinanderfolge geschlechtlich und ungeschlechtlich sich fortpflanzender Generationen von Elementarorganismen, welche sich an jene wunderbaren Erscheinungen anreiht, die man bei Tieren und Pflanzen mit diesem Namen zu bezeichnen pflegt.

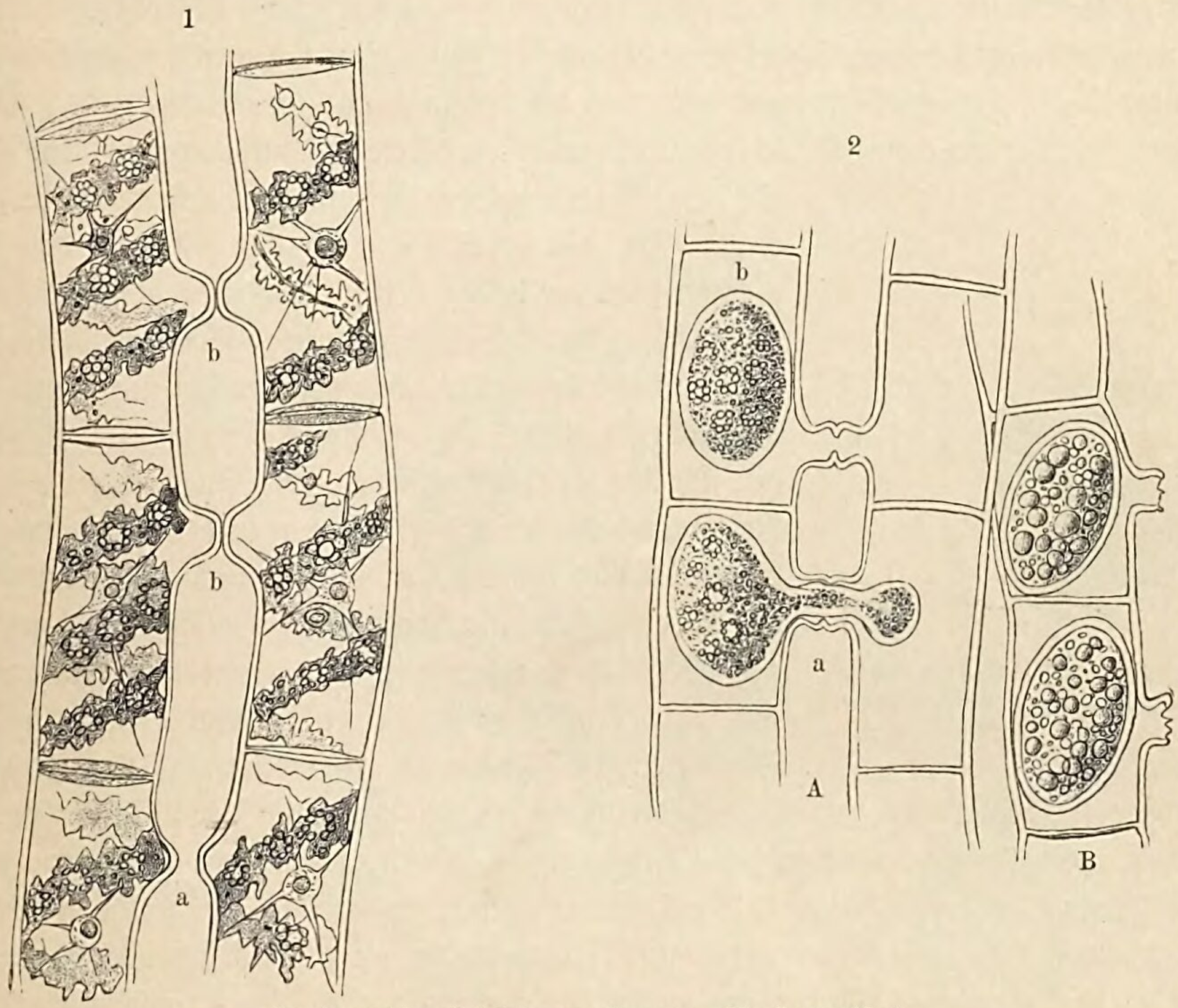


Bildung von Schwärmsporen bei Stigeoclonium insigne. Stark vergrößert.

A) Ein aus einer Zellenreihe bestehender Ast der Alge; cl) grün gefärbte Protoplasmagebilde (Chlorophyll), in den farblosen Protoplasmaschlauch der Zelle eingebettet. B) Die Protoplasmakörper der Zellen kontrahieren sich (a, a′) und treten durch Öffnungen der Zellhäute heraus (b, b′). C) Schwärmspore noch ohne Haut; D) eine solche zur Ruhe gekommen; E) getötet, das Protoplasma hat sich zusammengezogen. G) Zwei Zellen eines Fadens, in Teilung begriffen. H) Eine junge, aus der Schwärmspore D) erwachsene Pflanze.

Ein reines Beispiel des äußeren Verlaufs der **Verjüngung einer Zelle** gibt uns nach **Sachs** die Bildung von Schwärmsporen, d. h. von ungeschlechtlich entstehenden Fortpflanzungszellen, der Wasseralgen, Pflanzen, welche die botanische Systematik in ihre niedrigste Klasse stellt. Bei einer als „Konjugaten" bezeichneten Gruppe dieser einfach organisierten Wassergewächse, z. B. bei Stigeoclonium insigne, sehen wir die Verjüngung der Zelle dadurch eingeleitet, daß sich ihr mit Zellsaft in einem großen zentralen Hohlraum erfüllter Protoplasmaschlauch zusammenzieht und unter Auspressung des Zellsaftes sich zu einer soliden Protoplasmakugel gestaltet (s. oben, Fig. Ba, a′). Durch eine Öffnung der Zellmembran trennt sich dieser neuangeordnete, verjüngte Protoplasmakörper von der Mutterpflanze (Fig. Bb, b′). Nun schwimmt er als Schwärmspore (Fig. C), von inneren Kräften getrieben, im Wasser umher. Während des Austritts aus der

Zellhaut ist das Protoplasma weich und dehnbar; wir erkennen das an den passiven Bewegungen und Gestaltsveränderungen, welche es dabei erleidet. Sowie es aber befreit ist, erscheint seine Gestalt keineswegs mehr durch äußere Einwirkungen, sondern durch innere formende Ursachen bestimmt. Der anfänglich nackte Protoplasmaleib umhüllt sich in der Folge mit einer mehr und mehr an Dicke zunehmenden Zellhaut (Fig. E, S. 78). Nach einigen Stunden des freien Schwärmens beruhigt sich endlich die kleine Zelle, nimmt unter Abscheidung von Zellsaft an Volumen zu (Fig. D, S. 78), wächst namentlich in die Länge und beginnt dann durch Zellteilung neue Zellen zu bilden (Fig. H, S. 78). Endlich wächst sie zu einem der Mutterpflanze entsprechenden Zellenfaden aus. Während der dem

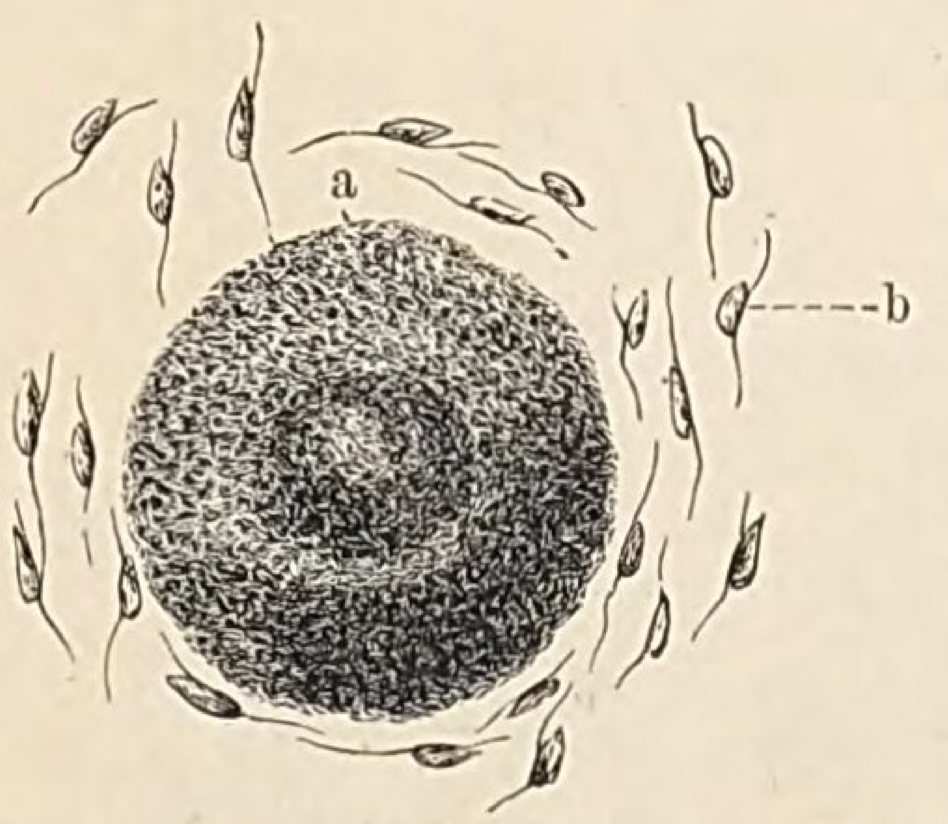


Konjugation bei Spirogyra longata. Stark vergrößert.

1) Einige Zellen zweier zur Kopulation sich vorbereitender Fäden mit schraubenförmig gewundenen Chlorophyllbändern und Kern: a) und b) die Ausstülpungen zur Vorbereitung der Konjugation. 2 A) In Konjugation begriffene Zellen: bei a) schlüpft der Protoplasmakörper der einen Zelle soeben hinüber in die andere Zelle, bei b) ist dies geschehen. B) Die jungen Zygosporen, mit Haut umkleidet.

Austritt aus der ursprünglichen Zellwand vorausgehenden Kontraktion wird die Anordnung des Protoplasmakörpers in charakteristischer Weise verändert: das in Streifen angeordnete Blattgrün (Fig. A, cl, S. 78), das Chlorophyll, verliert seine scharfe Begrenzung, die Gestalt des Protoplasmas wird eine eiförmige und zeigt eine vorher nicht vorhandene Trennung in ein breites grünes und in ein ungefärbtes, durchsichtiges, schmäleres Ende (Fig. C, S. 78). Nach Beendigung des Schwärmens setzt sich die Zelle mit dem schmäleren Ende fest, während ihr grüner, breiterer Teil durch Spitzenwachstum weiterwächst. Die Wachstumsrichtung der verjüngten Algenzelle steht nun aber senkrecht auf der Wachstumsrichtung der Mutterpflanze und damit auf jener der Zelle selbst vor deren Verjüngung. Es findet also eine vollkommen neue Orientierung des ganzen Protoplasmakörpers der Zelle statt. Der frühere Querschnitt wird zum Längsschnitt der verjüngten Zelle und der aus dieser hervorwachsenden Pflanze. Aus dem alten Material ist durch vollkommene Neuanordnung eine neue Zelle gebildet worden. Wir werden erfahren, daß ganz ähnlichen Verjüngungsvorgängen auch bei der Vermehrung animaler Zellen eine hochwichtige Rolle zugeteilt ist.

Die Verschmelzung zweier Zellen zu einer neuen entwickelungsfähigen Einheit, ein Vorgang, welcher unter zahlreichen Variationen sich erfüllen kann, tritt uns in besonderer Einfachheit bei der Fortpflanzung einer unserer gemeinsten Fadenalgen, der Spirogyra longata, entgegen. Jeder Faden dieser Pflanze besteht aus einer Reihe unter sich gleichartiger, cylindrischer Zellen (s. S. 79, Fig. 1). In dem Protoplasmaschlauch jeder derselben ist eine verhältnismäßig große Menge von Zellsaft enthalten, in dessen Mitte ein Zellkern, durch Protoplasmafäden an die schlauchartige Hauptmasse der letzteren geheftet, schwebt. Im Protoplasma liegt ein schraubenförmig gewundenes Band von Blattgrün, in welchem an bestimmten Stellen, wie ein zierliches Ornament, Stärkekörner eingebettet sind. Zur Verschmelzung legen sich die Algenfäden annähernd parallel nebeneinander, immer findet die Verbindung zwischen den gegenüberliegenden Zellen zweier Fäden statt. Zunächst bemerken wir, daß die nebeneinander gelagerten Zellen zur Vorbereitung auf die Verschmelzung seitliche, gegeneinander gewendete Ausstülpungen treiben (Fig. 1a, S. 79). Diese wachsen fort, und endlich treffen sie aufeinander (Fig. 1b, b, S. 79). Hierauf zieht sich das Protoplasma jeder der beiden beteiligten Zellen gleichzeitig, unter Ausstoßung des Zellsaftes, zu einer eiförmigen Masse zusammen und löst sich vollkommen von der ihn umgebenden Zellhaut ab (Fig. 2b, S. 79), während sich die Zellwand zwischen den sich berührenden Ausstülpungen öffnet. Einer der beiden Protoplasmakörper drängt sich nun in den so geöffneten Verbindungskanal (Fig. 2Aa, S. 79) und gleitet langsam in den anderen Zellraum hinüber. Im Moment der gegenseitigen Berührung sehen wir die beiden Protoplasmakörper miteinander verschmelzen, einen in dem anderen aufgehen. Der vereinigte Körper hat eine eiförmige Gestalt und ist kaum größer als einer der beiden, aus denen er sich gebildet hat (Fig. 2B, S. 79). Bei dem beschriebenen Vorgang machen sich Erscheinungen geltend, welche wir uns nur aus dem Auftreten ganz besonderer Thätigkeiten im Protoplasma, die wir in der Folge werden eingehend beachten müssen, zu erklären vermögen. So bemerken wir z. B., daß bei der Vereinigung sich auch die beiden grünen Bänder aneinander anlegen und ebenfalls zu einem Bande verschmelzen. Der aus der Verschmelzung hervorgegangene Protoplasmakörper umhüllt sich mit einer Zellhaut und entwickelt sich in der Folge durch Zellteilung zu einer neuen Pflanze.



Befruchtung einer Eizelle (a) von Fucus vesiculosus, umgeben von schwärmenden Spermatozoiden (b). Stark vergrößert.

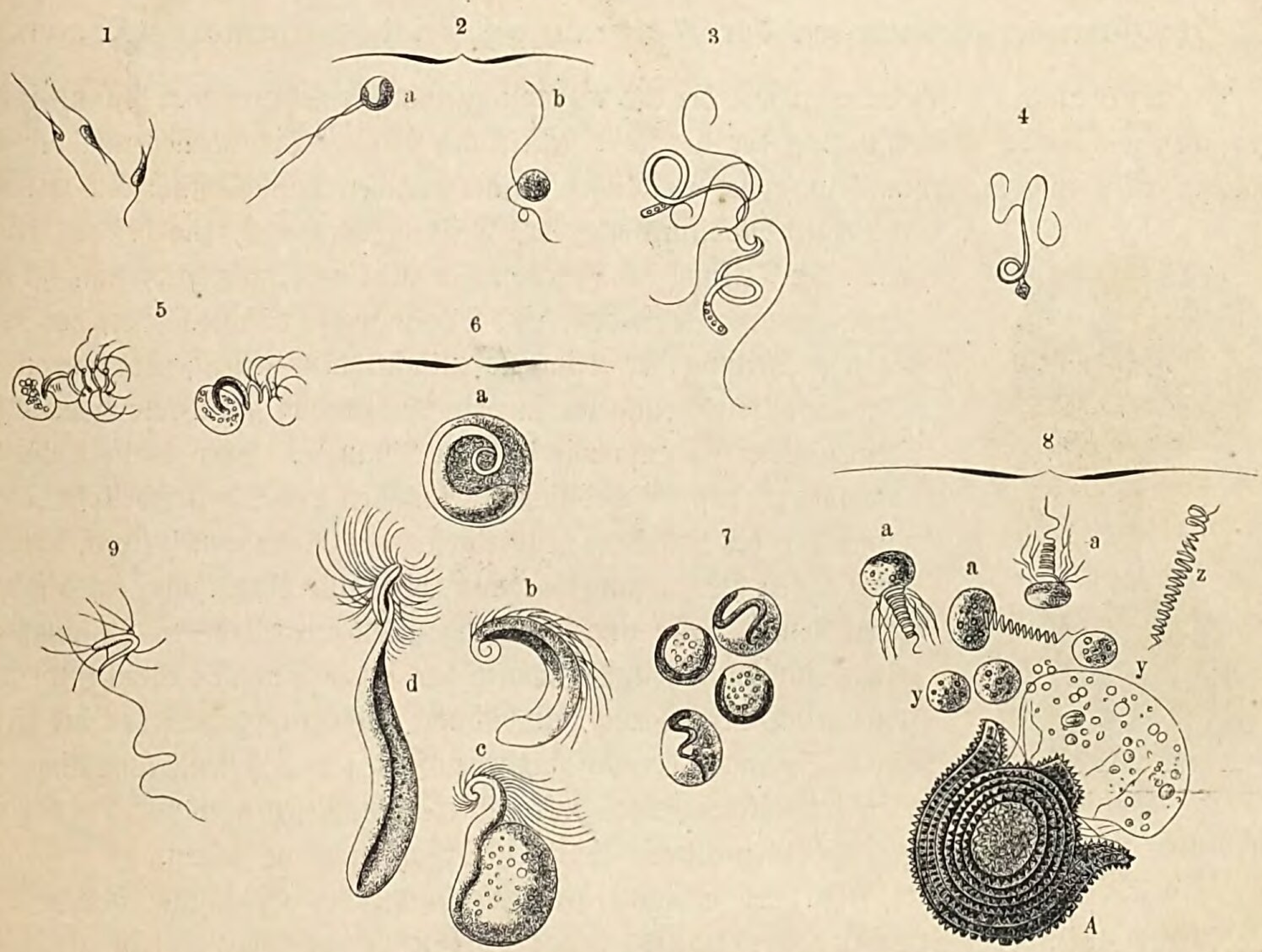
Auch drei und mehr Protoplasmakörper können zur Bildung eines neuen zusammentreten. Bei Algen hat man beobachtet, daß eine Zelle sich mit zwei anderen verband und ihre Protoplasmamassen in sich aufnahm. Bei den Schleimpilzen, den Myxomyceten, verschmelzen regelmäßig die fast wie Amöben beweglichen nackten Schwärmsporen nach und nach in großer Zahl zu größeren beweglichen, hautlosen Protoplasmakörpern, die sich später in zahlreiche Zellen umwandeln.

Viel weiter verbreitet als die eben betrachteten Fälle, bei denen die sich vereinigenden Protoplasmakörper gleich groß und in ihrem Verhalten einander sehr ähnlich waren, sind andere, bei welchen die verschmelzenden Keime eine sehr ungleiche Größe und auch im übrigen verschiedene Eigenschaften zeigen. Das ist der Fall bei dem Befruchtungsprozeß vieler Kryptogamen, blütenloser Gewächse.

Bei den bisher betrachteten Fällen der Zellbildung durch Konjugation, Verschmelzung, war ein Unterschied von weiblichen und männlichen Zellen nur in den ersten Andeutungen ausgesprochen. Indem das Protoplasma der einen Zelle aktiv in das andere, sich passiv verhaltende eindrang, gab sich das erstere als männlicher, das zweite als weiblicher Keim zu erkennen.

Dem männlichen Keime fällt bei der Verschmelzung die thätige Rolle zu, während sich der weibliche Keim dabei mehr oder weniger leidend zu verhalten pflegt.

Bei einer großen Wasseralge, Fucus vesiculosus, trennt sich der weibliche Keim als ein relativ mächtiger, vollkommen kugeliger Protoplasmakörper von der Mutterpflanze und verbindet sich mit einem oder mehreren der außerordentlich kleinen, mittels Wimperhärchen beweglichen männlichen Keime. Die letzteren sind aber ebenfalls Protoplasmakörper und besitzen den Formenwert einer nackten Zelle. Man hat beobachtet, daß die so verschiedenartig erscheinenden weiblichen



Männliche Samenkörperchen von Pflanzen. Stark vergrößert.

Von Algen: 1) Fucus vesiculosus, 2a, b) Coleochaete pulvinata; von Characeen: 3) Nitella flexilis; von Laubmoosen: 4) Funaria hygrometrica; von Farnen: 5) Adianthum Capillus Veneris; von Schachtelhalmen: 6a, b, c, d) Equisetum arvense: a) noch in Bläschen eingeschlossen, d) ganz gestreckt; von Rhizokarpeen: 7) Salvinia natans, 8) Marsilia salvatrix, A) geplatzte Mikrospore nach Entleerung der Spermatozoiden, a) Spermatozoiden mit Blase und schraubenförmigem Körper, y und z die beiden letzteren abgerissen; von Lykopodiaceen: 9) Isoëtes lacustris.

und männlichen Keime dieser Pflanzen, den bei den Konjugaten soeben geschilderten Erfahrungen nahezu entsprechend, miteinander verschmelzen. Aus der Verbindung der Keime geht auch hier eine „Fortpflanzungszelle“ hervor, mit welcher die Bildung eines neuen höheren Individuums beginnt.

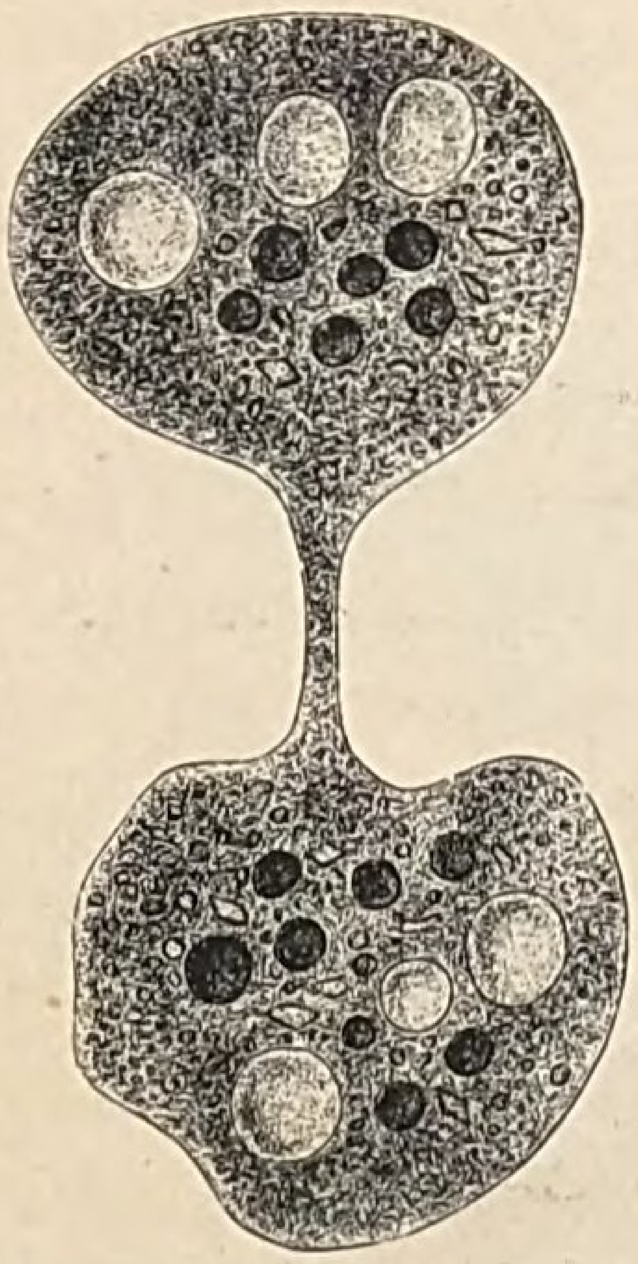
Die großen, kugeligen weiblichen Keime der Pflanzen werden wie die entsprechenden Gebilde bei den animalen Wesen als Eier, die kleinen, beweglichen männlichen Keime als Spermatozoiden oder Samenkörperchen bezeichnet. Die Form der letzteren ist bei den Pflanzen, wie die obenstehenden Abbildungen lehren, in hohem Grade verschieden.

Der im Wasser stattfindende Vorgang der Verschmelzung des Pflanzen-Eies mit einem Samenkörperchen ist höchst lebhaft und originell (s. Abbildung S. 80). Die kleinen beweglichen Spermatozoiden umschwärmen die Eizelle in großer Anzahl, wir sehen sie andringen, zurückweichen, wieder vorgehen, endlich sammeln sie sich um die Eizelle an und hängen sich an ihr

fest. Ist ihre Zahl hinreichend groß und ihre Beweglichkeit energisch genug, so sind sie im stande, die träge Eikugel trotz deren relativ gewaltiger Größe im Vergleich mit ihrer eignen Kleinheit für einige Zeit in eine rotierende Bewegung zu versetzen. Dabei gelingt es einem oder dem anderen der Samenkörperchen, seine Körpersubstanz mit dem Protoplasma der Eizelle zu vermischen. Diese umgibt sich nun sofort mit einer Zellhaut und beginnt in der Folge durch Zellteilung zu einer neuen, komplizierteren Pflanze auszuwachsen.

Die Grunderscheinungen der Befruchtung bei den animalen Wesen.

Ganz ähnlichen Erscheinungen wie bei der Erzeugung und Vermehrung der Pflanzenzellen begegnen wir bei der Fortpflanzung der tierischen Zellen und Keime. Die Vermehrung der animalen Zellen und die Entwickelung der weiblichen Keime beruhen ausschließlich auf den verschiedenen Modifikationen des Teilungsvorgangs, wie bei den Pflanzen. Der Teilung des Zellprotoplasmas geht, wie dort, zunächst eine Neuanordnung desselben, eine Verjüngung, voraus. Von der durch die erste Teilung der Keimzelle entstandenen Zellengeneration an genügt diese Erneuerung der inneren Anordnung des Protoplasmas zur Zellneubildung ebenso wie bei den Pflanzen. Aber es ist höchst beachtenswert, daß die weiblichen Keimzellen und Eier wirbelloser Tiere, namentlich der Insekten, vielverbreitet das Vermögen besitzen, lediglich durch diesen Verjüngungsvorgang, ohne alle Beteiligung eines männlichen Keimes, also ungeschlechtlich, nicht nur die ersten Teilungsvorgänge einzuleiten (ein Vermögen, das allen animalen Eiern zukommt), sondern die Vermehrung, Umbildung und Gruppierung der aus diesen ersten Teilungen hervorgegangenen Zellen und Zellenabkömmlinge bis zur Fertigbildung eines dem mütterlichen Wesen wenigstens in den folgenden Generationen ähnlichen Organismus zu führen.



Freiwillige Teilung einer Amöbe. Stark vergrößert.

In der weitaus größten Anzahl der Einzelfälle bedarf die weibliche Keimzelle aber zur Erreichung ihrer vollen Entwickelungsfähigkeit der Befruchtung, d. h. der Verbindung und Verschmelzung mit männlichen Protoplasmakörpern.

Bei den Wurzelfüßern, jenen einfachsten, selbständig lebenden animalen Organismen, deren Lebensverhalten uns schon so manchen Anhalt zur Beurteilung des Lebens der Keimzelle und der Gewebszellen gegeben hat, ist in Beziehung auf die Art und Weise ihrer Vermehrung wenig mit voller Sicherheit bekannt. Eine Anzahl zweifelsfreier Beobachtungen scheint darauf hinzudeuten, daß bei den Wurzelfüßern schon Vorgänge sich finden, welche an die Fortpflanzungsakte höherer animaler Organismen mahnen. Aber das steht fest, daß eine gewöhnliche Art der Vermehrung bei ihnen die einfache Teilung ist. Der Vorgang wurde, wenn auch selten, doch bei einer Anzahl nackter Süßwasser-Wurzelfüßer mit Sicherheit beobachtet. Bei einer der von Leidy beobachteten Teilungen einer Amöbe (wahrscheinlich Proteus) entstand aus dieser durch Einschnürung ein Paar kleiner Amöben, welche endlich nur noch durch einen schmalen Verbindungsstrang, wie durch eine Landenge, zusammenhingen (s. obenstehende Figur). Jedes dieser kleinen Wesen zeigte im Begriffe, sich zu trennen, eine ovale Form, jedes besaß einen kontraktilen, mit Flüssigkeit gefüllten Hohlraum und zwei wie Öltropfen aussehende Kugeln, dagegen schien der Zellkern verschwunden. Die inneren Schichten des Protoplasmas boten den bei Proteus gewöhnlichen Charakter dar und enthielten außer kleinen Kristallen eine Anzahl teils grüner, teils schon durch

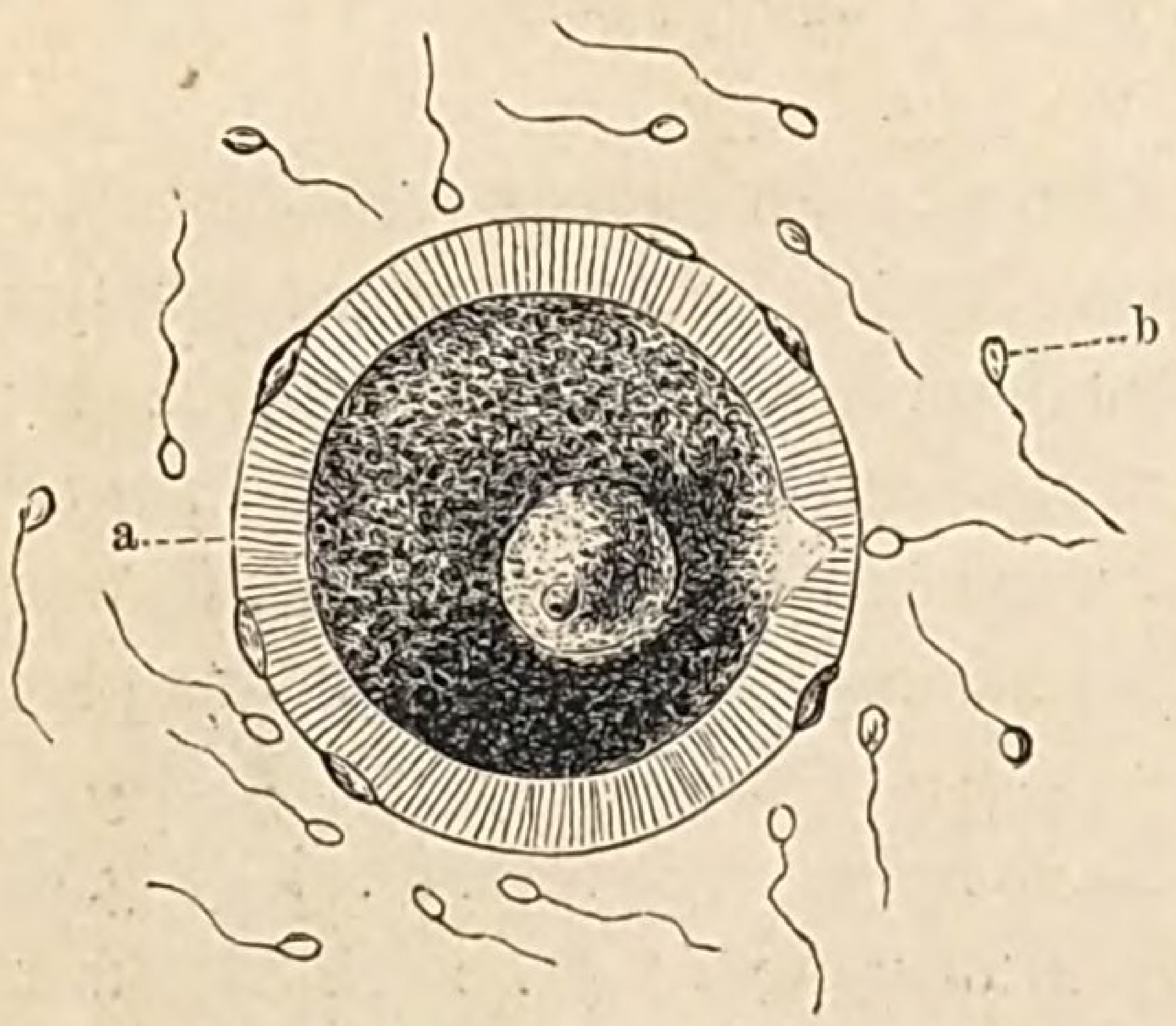
die Verdauung braun gewordener Algen. Die Beobachtung hatte etwa 10 Minuten gewährt, als die Trennung durch Zerreißung des Verbindungsstranges erfolgte. Diese Teilung wiederholte sich bei den soeben durch Trennung entstandenen kleinen Wesen und zwar sonst in der gleichen Art und Weise wie das erste Mal, doch stand, wie das für alle Zellteilungen die Regel ist, die zweite Teilungsrichtung senkrecht auf der zuerst beobachteten. Man hat auch den entgegengesetzten Vorgang, eine Konjugation, eine Verschmelzung zweier Individuen zu einem, bei Amöben öfters beobachtet. Offenbar spielt auch bei der Fortpflanzung der Wurzelfüßer, wie es sich bei jener der Infusorien feststellen ließ, der Kern, wo er vorhanden ist, die wichtigste Rolle.

Bei höheren animalen Wesen, aber auch bei der Mehrzahl der niederen, gleicht der Verschmelzungsvorgang der beiden Keime außerordentlich jenem, den wir bei kryptogamen Pflanzen beschrieben haben. Wie bei den Pflanzen werden die männlichen Keime auch bei den animalen Wesen Spermatozoiden, Samenfäden oder Samenkörperchen benannt. Man kann bei wirbellosen Tieren, deren Eier, wie wir hörten, vielfach im äußeren Ansehen denen der Säugetiere und des Menschen ähnlich erscheinen, den Akt der Befruchtung, d. h. der Vereinigung des männlichen und weiblichen Keimes, leicht beobachten.

Die dem Säugetier-Ei ähnlichen Eier der bekannten Seewalze, der Holothurie (Fig. a, S. 84), sind zwar außerordentlich viel größer als ihre Samenkörperchen (Fig. b, S. 84), aber doch noch klein genug, um auch bei Anwendung stärkerer optischer Vergrößerungen ihre gleichzeitige Beobachtung mit jener der kleinen, beweglichen Protoplasmagebilde zu gestatten. Haben sich die Eier aus dem Zusammenhang gelöst, in welchem sie im eibereitenden Organ sich befunden haben, so erscheinen sie als schwach rötlichbraun gefärbte, kugelige Protoplasmakörper, Dotter, mit einem großen, bläschenförmigen Kern, Keimbläschen, in welchem das Kernkörperchen, der Keimfleck, sich deutlich abhebt und seinerseits wieder ein noch kleineres Körperchen oder Bläschen, das Korn Schroens, in sich eingeschachtelt enthält. Umgeben ist der Dotter mit einer dicken, durchsichtigen, gallertartigen Zone, welche, mit einzelnen kernartigen Gebilden besetzt, eine feine radiäre Streifung erkennen läßt. An einer Stelle ragt ein kleiner, von der Dottermasse gebildeter konischer Zapfen aus einer Öffnung in der durchsichtigen Zone hervor, bereit, einen andringenden männlichen Protoplasmakörper aufzunehmen.

Da die Verschmelzung der beiden Keime auch hier wie bei den oben beschriebenen Wasserpflanzen außerhalb des mütterlichen Organismus im Wasser vor sich geht, so kann man leicht durch Zusammenbringen männlicher und weiblicher Keime künstlich die gleichen Verhältnisse für die Befruchtung hervorrufen, welche normal von der Natur gegeben werden. Bringt man ein Holothurien-Ei und eine Anzahl der kleinen, aus einem rundlichen Körperchen, an welchen ein langer, fortgesetzt in Bewegung begriffener, feiner Faden ansitzt, bestehenden Samenkörperchen in demselben Tropfen Meerwasser unter das Mikroskop bei geeigneter Vergrößerung, so beobachtet man ein höchst eigentümliches, lebhaftes Schauspiel. Dasselbe ist dem oben bei der Algenbefruchtung geschilderten Vorgange in hohem Maße ähnlich. Während das Ei vollkommen ruhig erscheint, sehen wir die kleinen, im Wasser rasch hin und her fahrenden männlichen Protoplasmakörperchen, sowie sie auf ihren sich mannigfach kreuzenden Wegen in die Nähe des Eies gelangt sind, auf dieses, gleichsam magnetisch angezogen, in direkter Richtung losstürzen. Nach der ersten Berührung prallen sie wieder zurück, um dann von neuem angezogen zu werden. Endlich bleiben sie an der durchsichtigen Eihülle kleben, und nur der Endfaden setzt seine Bewegungen fort. Indem eine große Anzahl von Samenkörperchen das gleiche Spiel zeigt und das Ei in lebhaftem Tanze umwimmelt, mahnt der ganze Vorgang an das bekannte Spiel leichter, kleiner Körperchen, die von dem Konduktor einer Elektrisiermaschine mehrmals angezogen und wieder abgestoßen werden,

um endlich auch an demselben gleichsam kleben zu bleiben. Man hat bezüglich der oben geschilderten Pflanzenbefruchtung die Meinung ausgesprochen, daß es sich bei der Anziehung, welche z. B. das Fucus-Ei auf die Samenkörperchen ausübt, wirklich um einen elektrischen Vorgang handeln möge, wobei das Ei die Rolle des Konduktors spiele. Die Beobachtungen bei der Befruchtung der Holothurien-Eier stimmen zu dieser Meinung in hohem Maße, und bekanntlich lassen die neueren Ergebnisse der Untersuchung über tierische Elektrizität in jeder Zelle wie im Ei, zusammengesetzt aus den chemisch verschieden reagierenden beiden Organen: Kern und Protoplasma, eine kleine elektrische Batterie erkennen. Gewiß ist, daß das Ei auf die Samenkörperchen eine der Elektrizität ähnlich wirkende Anziehung ausübt.



Befruchtung eines Holothurien-Eies (a), umschwärmt von Spermatozoiden (b). Stark vergrößert.

Der Vorgang der Eibefruchtung ist bei den Säugetieren vielfach und sehr genau untersucht worden, er ist bei ihnen, wie bei allen Wirbeltieren, dem eben geschilderten vollkommen ähnlich. Auch bei den erstgenannten sehen wir die Samenkörperchen, die denen der Holothurien im allgemeinen ähneln, von dem mütterlichen Keime angezogen, in die durchsichtige Eihülle und durch diese in den Dotter eindringen. Hierbei bohren sich die Samenkörperchen mittels der zuckenden oder schraubenförmigen Bewegungen ihres Fadens, welche das Köpfchen vorwärts stoßen, in die durchsichtige Zone ein. Wir haben hier sonach ein allgemeines gesetzmäßiges Verhalten vor uns, das uns berechtigt, auch für den Menschen das Gleiche vorauszusetzen.

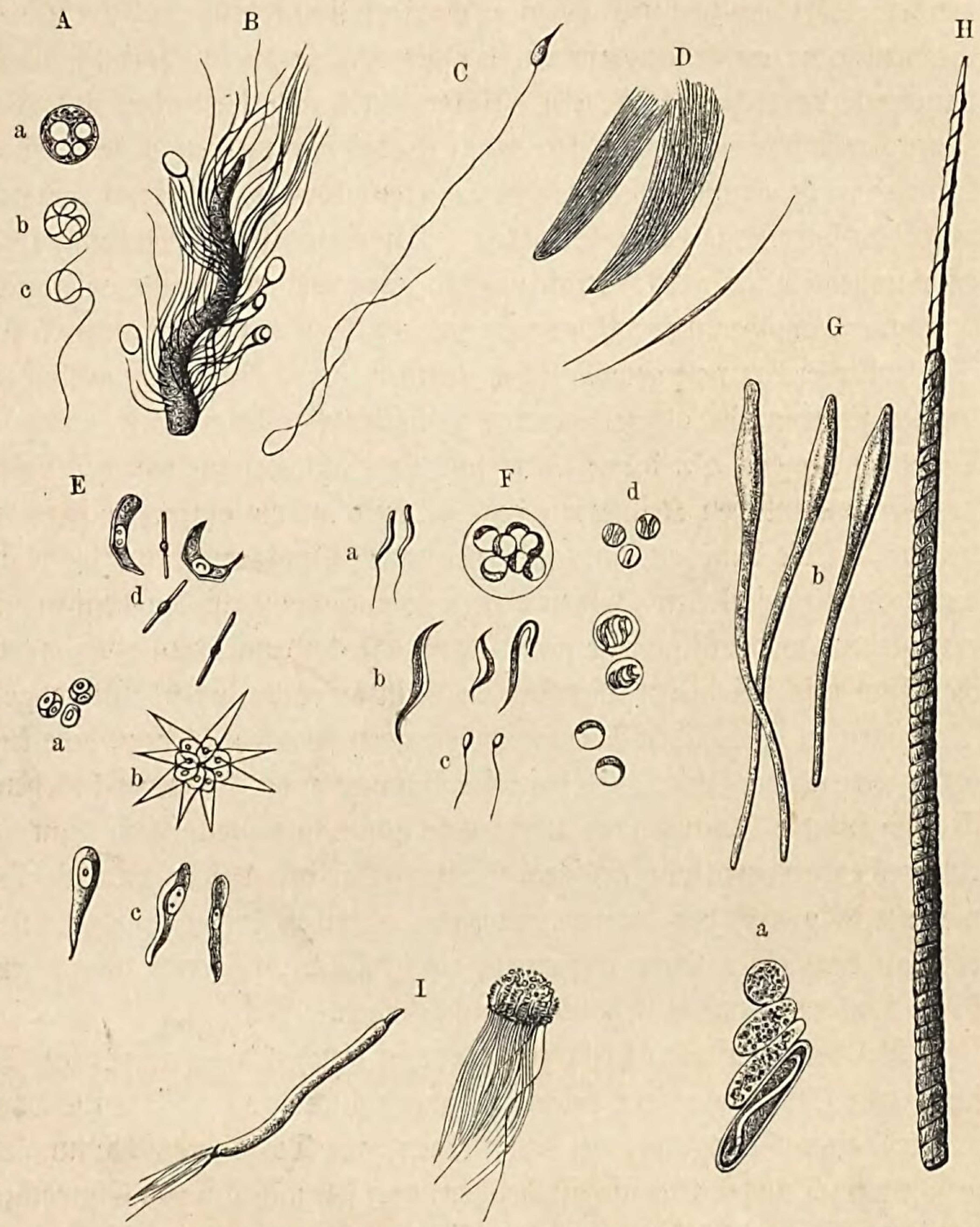
Die Gestalt der animalen männlichen Keime.

Die mütterlichen Keime der Säugetiere und des Menschen zeigen eine weitgehende Ähnlichkeit im Bau und in dem Gesamtverhalten, der nahen Bauverwandtschaft der höchsten animalen Wesen entsprechend. Eine geschärfte Beobachtung vermag aber, wie wir oben hörten, doch deutliche und unverkennbare Unterschiede zwischen den mütterlichen Keimen der verschiedenen Arten auch in der höchsten Klasse der Wirbeltiere zu erkennen.

Noch augenfälliger sind die Baudifferenzen zwischen den verschiedenen männlichen Keimen, den Spermatozoiden oder Samenkörperchen. Aus den besten Untersuchungen, zuletzt wieder aus denen von La Valette Saint-George, geht hervor, daß nicht nur bei den Samenkörperchen der verschiedenen Tierklassen, sondern auch innerhalb derselben Klasse bei den verschiedenen Ordnungen und sogar Gattungen verschiedene Formen vorkommen; nur bei Tieren der gleichen zoologischen Art, Spezies, erscheinen die Samenkörperchen gleich. La Valette spricht nach seinen Beobachtungen den Satz aus: die Samenkörper sind konstant nur in der Spezies, der Art, sonst in der Tierreihe nach ihrer Form sehr verschieden.

Eigentliche Spermatozoiden finden sich unter den niederen Tieren schon bei den Infusorien, bei welchen sie zuerst, und zwar bei Paramaecium aurelia von Johannes Müller nachgewiesen wurden. Sie erfüllen als fadenförmige Körper den vergrößerten Kern, der bei ihnen, was für die Auffassung des Zellkerns im allgemeinen von Wichtigkeit ist, als einfachstes männliches keimbereitendes Organ erscheint. Gewöhnlich bestehen die Samenkörper aus einem kleinen,

verschieden gestalteten Protoplasma-Ballen, dem Köpfchen, an welchem ein feiner schwingender Faden ansitzt. Bei Schwammtieren (Spongilla) hat zuerst Lieberkühn Samenkörperchen gesehen. Sie bestehen aus einem ovalen Köpfchen mit Faden. Quallen, Seenesseln oder Medusen haben Samenkörperchen mit teils runden, teils länglichen Köpfchen und anhängendem Faden. Bei den Stachelhäutern haben diese kleinen männlichen Keime ein rundliches Körperchen mit feinem, haarförmigem Schwanze, wie wir sie oben schon von den Holothurien geschildert haben. Sehr verschieden ist die Gestalt der Samenkörper bei den Würmern. Während sie bei vielen haarförmig sind (Cestoden, Trematoden, Turbellarien), erscheinen sie bei den Fadenwürmern (Nematoden) eigentümlich keulen- oder stäbchenförmig mit amöbenähnlichen Bewegungen. Unter den Sternwürmern hat Sternaspis kurze, an einem Ende in eine Spitze zulaufende Samenkörper; die der Regenwürmer sind an einem Ende etwas verdickte Fäden; bei der zu den Ringelwürmern gehörenden Branchiobdella erscheinen die Fäden sehr dünn und an dem einen Ende spiralförmig zusammengedreht.



Männliche Samenkörperchen (Spermatozoiden) wirbelloser Tiere. Stark vergrößert.

A) Von der gemeinen Fischlaus (Argulus foliaceus): a) und b) Entwickelungszellen, c) freies Samenkörperchen; B) von der Schaumzirpe (Cercopis spumaria), um einen Achsenstrang zu federförmigen Massen verbunden; C) von der Bläschenschnecke (Bullaea aperta); D) von einem Glattwurm (Clepsine); E) von einem Rädertierchen (Notommata Sieboldii): a) Entwickelungszellen, b) dieselben im Auswachsen begriffen, c) Auftreten des undulierenden Saumes, d) reife flimmernde und stäbchenförmige Samenkörperchen; F) von Spinnen: a) von der Kreuzspinne (Epeira), b) von Dysdera, c) von der Samtspinne (Clubiona), d) von Phalangium; G) von der Schildkrötenzecke (Ixodes testudinis): a) Entwickelungszellen, b) ausgebildete Samenkörperchen; H) von einem Muschelkrebs (Pinselfloh, Cypris acuminata); I) von der Lebendig gebärenden Sumpfschnecke (Paludina vivipara).

Bei den Borstenwürmern besitzen die Samenkörper ein kugeliges oder annähernd birnförmiges Köpfchen mit feinem Faden.

Besonders interessant sind die Samenkörper der Gliedertiere wegen ihrer höchst mannigfaltigen Bildungen. Bei einigen kommen sogar zwei verschiedene Formen der männlichen Keime vor. So beschreibt Leydig bei Notommata Sieboldii (s. vorstehende Abbildung, Fig. Ea, b, c, d) eine Form von Samenkörpern, aus einem sichelförmigen Körper mit Kern und Kernkörperchen bestehend, welcher an dem einen Rande in ein deutlich wellenförmig sich bewegendes

Häutchen, in eine undulierende Membran, ausgeht. Außerdem finden sich bei demselben Tiere noch starke Stäbchen mit einer mittleren Anschwellung. Diese doppelten Formen vermehren noch die Anzahl der abweichenden Zeugungseinrichtungen, die wir bei den Gliedertieren kennen lernen werden. Bei den zu den Krebsen gehörenden Rankenfüßern (Cirripedien) finden wir haarförmige Samenfäden; außerdem kommen bei den Krebsen noch eiförmige und stabförmige, zweimal gewundene, vor (Fig. H, S. 85). Unter den Daphniden, den als Wasserflöhen bekannten winzigen Krebstierchen, beobachtete Leydig bei den meisten Arten kleine stäbchenförmige Samenkörperchen; bei einigen erscheinen die letzteren aber als Zellen mit kernartigen Gebilden und langen, scheinbar starr abstehenden Strahlen. Namentlich ist die Gattung Polyphemus durch derartige, aber ungewöhnlich große Strahlenzellen ausgezeichnet, welche, wie auch die kleineren von anderen Daphnien, amöbenartige Bewegungen ausführen. Auch bei anderen krebsartigen Tieren kommen Samenkörperchen von gewöhnlicher Zellform vor. Bei den zehnfüßigen Krebsen, den Dekapoden, werden sie ebenfalls als zellenartige kleine Gebilde beschrieben, welche fadenförmige Fortsätze wie Strahlen tragen. In dieser Form schließen sich die sonst von den mütterlichen so abweichend gestalteten männlichen Keime wie erstere direkt an die einfachste selbständige Form des animalen Lebens, an die Amöben, an. Wir verdanken Owsjannikow die wichtige Beobachtung, daß die amöbenartig gestalteten Samenkörperchen auch die Fähigkeit besitzen, ihre Strahlen vollkommen einzuziehen, wodurch sie eine ganz kugelige Form annehmen. Primordial-Ei und Samenkörperchen sind also bei diesen Tierchen im Prinzip vollkommen ähnlich gestaltet, beide sind mit dem Vermögen zu amöboiden Formveränderungen begabte, in der Ruhe kugelige Protoplasmakörper, deren wesentlicher Unterschied hauptsächlich nur in der Größe zu bestehen scheint. Diese Erfahrung ist auch für die Deutung der übrigen so abweichend gestalteten Samenkörperchen als einer Zelle entsprechende Wesen von größtem Werte. Bei den Asseln sind die Spermatozoiden starre, bewegungslose Fäden, welche entweder an beiden Enden spitz zulaufen (Oniscus, Mauerassel), oder an dem einen Ende mit einem cylindrischen, spitzen Anhang versehen sind (Asellus); der obere Teil des Fadens ist winkelig umgebogen.

Bei den spinnenähnlichen Tieren weichen die Formen der Samenelemente in den verschiedenen Ordnungen sehr bedeutend voneinander ab. Bei den Skorpionen sind sie haarförmig mit lebhafter Bewegung, bei den kleinen, im Dachrinnenschlamm lebenden Wasserbärtierchen, welche zum Teil die Eigenschaft besitzen, daß sie nach langem Eintrocknen durch Befeuchtung wieder ins Leben zurückgerufen werden können, sind die Samenkörperchen spindelförmig mit einem ovalen Kopfe, der in zwei schwingende Endfäden ausläuft; dagegen sind sie bei den eigentlichen Spinnen zum Teil bewegungslose Körperchen von runder oder nierenförmiger Gestalt mit runden oder länglichen Kernen (Fig. F, S. 85). Der größten Formenmannigfaltigkeit der Samenkörperchen begegnen wir bei der Ordnung der Milben; hier sind sie teils zellenförmig mit Kern, teils einfach kugelig, spindel-, keulen- und stabförmig.

Bei den Tausendfüßern lassen sich wenigstens zwei verschiedene Typen unterscheiden mit mannigfachen Unterverschiedenheiten, einesteils spindelförmige, konische oder federhutartige, starre Gebilde, anderseits lange, bewegliche Fäden.

Weniger in die Augen fallend sind die Unterschiede bei den Insekten. Am verbreitetsten sind bei ihnen haarförmige, an beiden Enden zugespitzte Fäden mit wellenförmig schlängelnder Bewegung, oft ist das eine Ende starr. Bei einigen Heuschrecken ist an das eine Fadenende ein winkelförmiger Anhang geheftet.

Dagegen zeigt sich unter den Mollusken wieder ein großer Formenreichtum, der sich namentlich bei den höheren, den sogenannten kopftragenden Weichtieren, den Cephalophoren, sehr ausgesprochen geltend macht. Bei den Bryozoen (Mooskorallen) sind die Samenelemente meist

stecknadelförmig gestaltet mit mehr oder weniger abgeplattetem Kopfe; bei den Salpen (Walzenscheiden) kehrt die Haarform wieder, bei den Ascidien (Seescheiden) wurden cylindrische, birnförmige oder elliptische Körperchen mit Haaranhang beobachtet, ähnlich verschieden sind die Formen bei den Muscheltieren. Bei den Flossenfüßern werden sie als an einem Ende verdickt und hier leicht spiralig gedreht beschrieben, während das andere Ende in einen feinen Faden ausläuft, der kurz vor seiner Spitze in ein kleines Bläschen anschwillt. Bei den Schneckentieren finden wir teils an beiden Enden zugespitzte Fäden, die bei einigen gegen das Ende an Dicke zunehmen und leicht gedreht erscheinen; wieder andere besitzen zugespitzte oder ovale, birnförmige oder in der Mitte eingeschnürte Köpfchen. Bei einer auch sonst sehr merkwürdigen Süßwasserschnecke, der lebendige Junge zur Welt bringenden Lebendig gebärenden Sumpfschnecke (Paludina vivipara), entdeckten v. Siebold und Leydig wieder zwei verschiedene Formen von Samenkörperchen (s. Abbildung S. 85, Fig. I). Neben kurzen, an dem oberen Ende korkzieherartig gewundenen Samenfäden sieht man dickere und größere von stäbchenförmiger Gestalt, von deren dickerem Ende pinselförmig kürzere Fäden entspringen. Die Samenkörper der Heteropoden zeigen einen länglichen, vorn etwas dickeren Körper, der sich nach hinten in einen immer feiner werdenden Faden auszieht. Bei den höchst entwickelten Weichtieren, den Kopffüßern (Cephalopoden), sind sie entweder cylindrische, mit zartem Haaranhange versehene oder haarförmige Gebilde.

Auch bei den Wirbeltieren sind die Formen der Samenkörperchen, der Spermatozoiden, in der charakteristischsten Weise verschieden.

Unter den Fischen zeigt die niedrigste Wirbeltierform, das Lanzettfischchen (Amphioxus), Fäden mit rundlichem Köpfchen, während letzteres bei den Samenkörperchen der Neunaugen stab- oder eiförmig ist. Die Knochenfische besitzen im allgemeinen sehr kleine, stecknadelförmige Samenkörper, welche bei der Grundel (Cobitis) noch mit einem Knöpfchen unterhalb des Kopfes versehen sind; bei den Salmenarten ist der Kopf vorn zugespitzt, von der Form eines Kartenherzens und aus zwei Teilen bestehend, die voneinander durch eine seichte Furche getrennt werden. Jene der Haie und Rochen sind bei weitem größer und mit spindelförmig, oft spiralig gewundenem Kopfende versehen (s. Abbildung S. 88, Fig. 12—16).

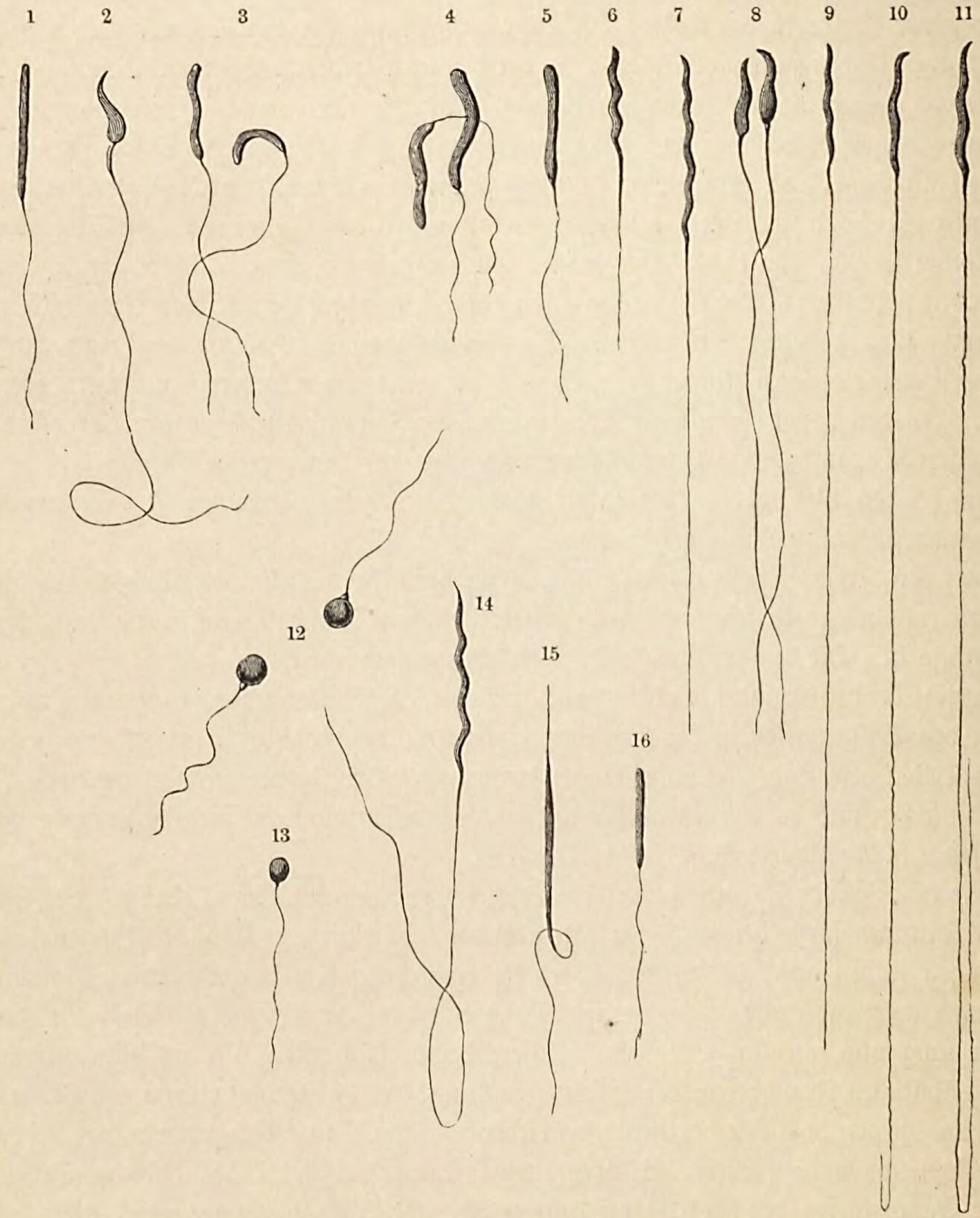
Sehr abweichende Formen zeigen die Samenkörperchen der Amphibien. Bei Salamandern und Tritonen sowie bei der Feuerkröte geht der spindelförmige Kopf des Spermatozoides in einen langen Faden aus, in dessen Längsachse ein wellenförmig schwingender, undulierender Saum wie eine Hemdkrause angeheftet ist. Dagegen ist bei der Teichunke (Pelobates) das Kopfende sehr lang und spiralig gewunden. Unsere beiden häufigsten, sich im allgemeinen außerordentlich ähnlichen Froscharten, der eßbare Frosch und der Grasfrosch (Rana esculenta und R. temporaria), zeigen doch eine deutliche Verschiedenheit ihrer Samenkörper darin, daß bei der ersten Art das Kopfende walzenförmig, bei der zweiten fast linear erscheint (s. Abbildung S. 88, Fig. 1).

Die Samenkörper der Reptilien besitzen ein walzenförmiges oder spindelartig gestaltetes Köpfchen mit langem Faden (s. Abbildung S. 88, Fig. 2 u. 3).

Bei den Vögeln finden wir zum Teil ähnliche Formen wieder. Bei der Taube, dem Reiher, den Möwen, den Raub- und Klettervögeln ist das Kopfende einfach walzenförmig, gerade; dagegen ist es bei den Singvögeln an beiden Seiten spitz ausgezogen und korkzieherförmig gewunden (s. Abbildung S. 88, Fig. 4—11).

Die Säugetiere zeigen nur einen Typus in der Bildung der Samenkörper. Diese bestehen im wesentlichen aus einem verdickten, sich der Scheibenform nähernden Kopfende, dem Kopf und einem fadenförmigen Anhang, dem Schwanz; zwischen beiden unterscheidet man noch das ovale Mittelstück (s. Abbildung S. 89, Fig. 11). Innerhalb dieses gemeinsamen Bildungstypus finden sich aber zahlreiche feinere Formabweichungen. Die Samenkörper des Schweines

haben einen eiförmigen Kopf, mit der Spitze dem Faden zugekehrt, an beiden Seiten gleichmäßig abgeplattet; ähnlich, aber untereinander selbst wieder abweichend sind auch die Formen bei Stier, Schaf und Pferd (Fig. 6, S. 89). Bei den Nagetieren kommen sehr wechselnde Formen des Kopfendes vor. Beim Kaninchen ist dasselbe eiförmig, seitlich abgeplattet, an der Spitze zum Ansatz

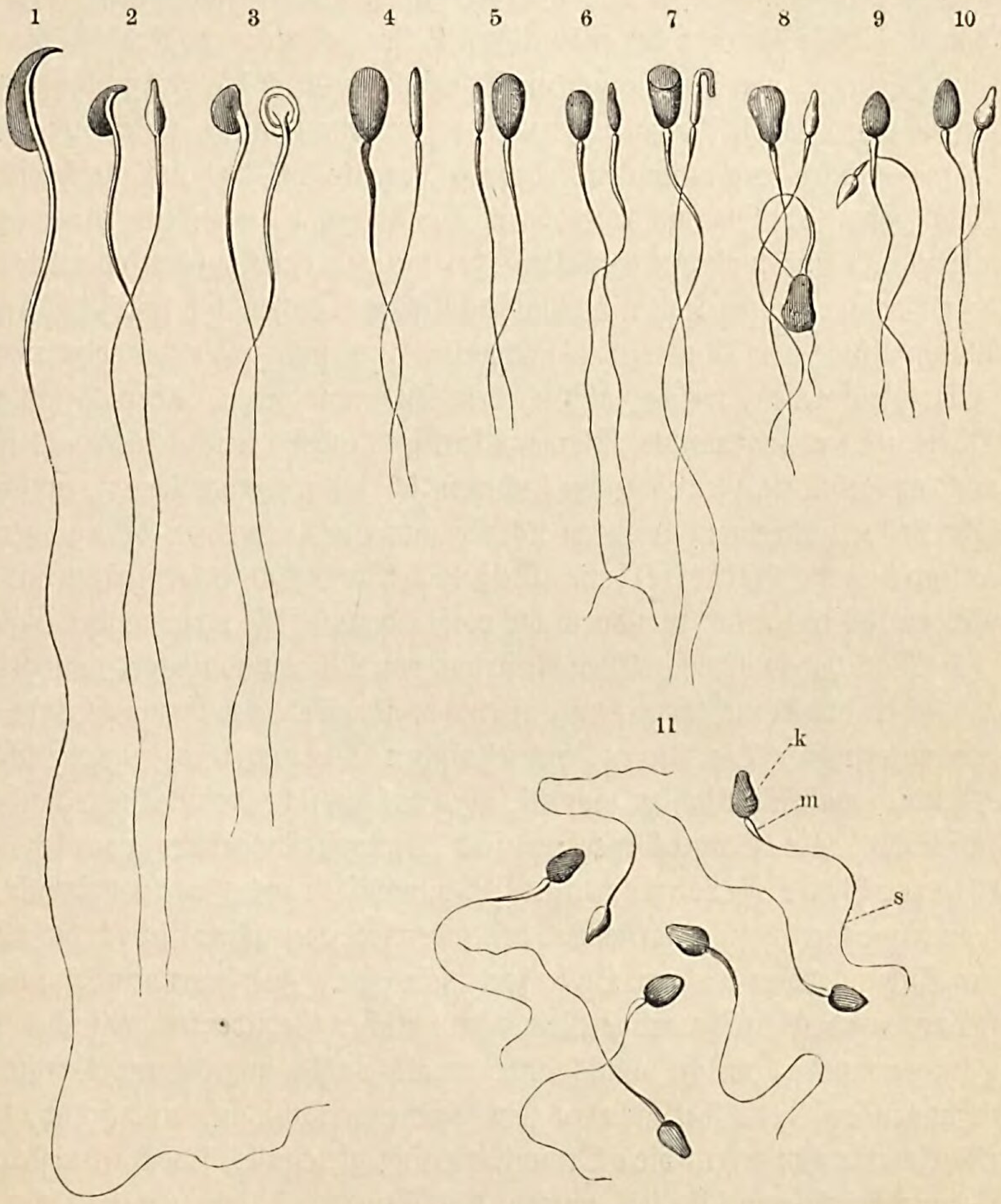


Männliche Samenkörperchen (Spermatozoiden) niederer Wirbeltiere. Stark vergrößert.
Amphibien und Reptilien: 1) Frosch (Rana esculenta), 2) Natter (Coronella laevis, 3) Eidechse (Lacerta agilis). Vögel: 4) Grünspecht, 5) Ente, 6) rotköpfiger Würger, 7) Schwarzdrossel, 8) Bastard eines Stieglitzmännchens und Kanarienvogelweibchens, 9) Stieglitz, 10) Kanarienvogel, 11) Buchfink. Fische: 12) Wetterfisch (Cobitis fossilis), 13) Barsch, 14) Zitterrochen, 15) Hundshai, 16) Neunauge.

des Fadens abgestutzt (Fig. 4, S. 89); beim Meerschweinchen stellt es dagegen eine fast kreisrunde Scheibe dar, welche am oberen Rande noch einen besonderen kappenförmigen Anhang zeigt. Die Spermatozoiden der Ratten und Mäuse besitzen ein beilförmiges Köpfchen, an dem der Faden wie der Stiel eines Beiles ansitzt, dessen oberes, zurückgebogenes Ende bei der Ratte lang und spitz, bei der Hausmaus kürzer und bei der Feldmaus stärker gekrümmt erscheint (Fig. 1, 2, 3, S. 89). Von den Fleischfressern hat der Hund ein birnförmiges Kopfstück, der Kater ein eiförmiges,

von dessen breiterer Seite der Faden seinen Ursprung nimmt (Fig. 8 u. 9). Beim Igel erscheint der Kopf des Samenkörpers nach unten zu wie abgeschnitten, der Faden setzt sich seitlich an. Auch die Samenkörper der Fledermaus zeigen ein abgestutztes Oval, der Faden setzt sich aber in der Mitte des unteren Randes an. Bei Affen hat man das Kopfende eiförmig, mit dem breiteren Ende dem Faden zugekehrt gesehen (Fig. 10).

Wir haben in ausführlicher Beschreibung die mannigfaltigen Formdifferenzen der Samenkörperchen durch die ganze Reihe der Tiere verfolgt und dadurch wieder einen lebhaften Eindruck in uns aufgenommen, wie wenig sich die Natur auch in Beziehung auf die Bildung der ersten Keime ihrer Geschöpfe an ein allgemein gültiges Schema bindet. Wie bei den weiblichen Keimen, den Eiern, so sehen wir auch bei den männlichen Keimen, den Samenkörperchen, und bei diesen sogar noch weit auffälliger die Baudifferenzen der sich aus diesen Keimen gestaltenden höher gegliederten Organismen schon in den ersten Grundlagen ihrer Organisation angedeutet. Und doch verleugnet sich auch hier nicht ein allgemeines Bildungsgesetz.



Männliche Samenkörperchen (Spermatozoiden) von Säugetieren und Menschen. (Mit Ausnahme von 1 von der Fläche und Kante dargestellt.) Stark vergrößert. Säugetiere: 1) Ratte (Mus rattus), 2) Hausmaus, 3) Feldmaus (Arvicola arvalis), 4) Kaninchen, 5) Reh, 6) Pferd, 7) Maulwurf, 8) Haushund, 9) Hauskatze, 10) roter Affe (Cercopithecus ruber). Mensch: 11k) Kopf, m) Mittelstück, s) Schwanz.

Die Samenkörper des Menschen schließen sich an die allgemeine Hauptform bei den Säugetieren an. Sie lassen ein ovales Köpfchen unterscheiden, dessen unterer, dem Faden zugekehrter Rand verdickt und abgerundet ist. Das Köpfchen erscheint als eine nach oben dünner werdende, in ihrer Mitte auf beiden Flächen etwas napfartig vertiefte ovale Scheibe. Von der Seite gesehen, erscheint daher das Köpfchen etwa birnförmig. Die erwähnte Verdickung ragt an der einen Fläche etwas stärker hervor. Die Länge des Kopfes beträgt $^{5}/_{1000}$ mm, die Breite $^{3}/_{1000}$, die größte Dicke $^{1}/_{1000}$; der Faden ist da, wo er am Köpfchen ansitzt, etwas verjüngt, verdickt sich dann zu $^{1}/_{1000}$ und läuft endlich bei einer Länge von $^{50}/_{1000}$ mm in eine äußerst feine Spitze aus (Fig. 11).

Werfen wir, ehe wir uns weiter in die Untersuchung der Lebensbedingungen der männlichen Keime vertiefen, zunächst einen Blick auf die mannigfaltigen Formen der Spermatozoiden zurück, die wir eben kennen gelernt haben.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß alle diese Formverschiedenheiten sich doch unter die Gemeinsamkeit einer primordialen Zelle vereinigen lassen.

Jene kugeligen Formen mit sternförmigen Ausläufern, welche wir in der niederen Tierwelt antrafen, gaben sich durch die Fähigkeit zu amöbenähnlichen Protoplasmabewegungen direkt als nackte Protoplasmakörper von dem Formwert einer primordialen, unausgebildeten Zelle zu erkennen. Diese Formen der männlichen Keime wiederholen geradezu die Grundformen des weiblichen Keimes, von dem sie sich im Prinzip nur durch die Größendifferenzen unterscheiden. Hier treffen wir also die Verhältnisse noch denen sehr ähnlich, welche uns auf der niedrigsten Stufe des vegetabilen und animalen Lebens entgegentraten, wo sich gleichgestaltete, freilich aber auch gleichgroße Protoplasmakörper durch Vermischung verbinden. Aber auch die einfach fadenförmigen und jene typischen Gestalten, bei welchen ein Köpfchen oder Körperchen mit einem mehr oder weniger langen Faden verbunden erscheint, lassen sich durch die Entwickelungsgeschichte als Abkömmlinge von Mutterzellen nachweisen und sind selbst von dem physiologischen Werte einer Zelle; Zellformen, welche, ähnlich den Spermatozoiden, einen Besatz von beweglichen Fäden, Cilien, tragen, sogenannte Wimperzellen, sind im Tierreich keineswegs selten, aber es finden sich auch ausgebildete Gewebszellen, namentlich bei niederen Tieren, welche, wie so viele männliche Keime, an einem größeren Körper nur einen einzelnen beweglichen Faden ansitzen haben: es sind das die Geißelzellen. Geißelzellen und Samenkörperchen mit Kopf und Faden unterscheiden sich wesentlich nur durch die verschiedene Größe voneinander (vgl. unten bei Zellformen).

Man hat mit dem größten Aufwand von Mühe und nach den ausgebildetsten mikroskopischen Methoden die Samenkörperchen auf eine an ihnen etwa wahrzunehmende feinere innere Struktur untersucht. Die älteren, hypothetischen Theorien der Zeugung schienen eine solche außerordentlich wahrscheinlich zu machen, aber das endliche Resultat war nach dieser Richtung ein sehr einfaches. Die Samenkörperchen sind Protoplasmagebilde von scheinbar sehr geringer innerer Baudifferenzierung. Bei Amphibien und Vögeln läßt sich an dem Körperchen eine hautartige Grenzschicht darstellen, bei anderen Tieren scheint jedoch diese Differenzierung nicht bis zur Bildung einer wahren Hülle fortzuschreiten. Zuerst an den Köpfchen der Samenkörper des Bären wurden streifenartige Reihen rundlicher Gebilde in dreifacher bandartiger Anordnung wahrgenommen, welche nichts anderes als reihig angeordnete kleinste Erhöhungen und Vertiefungen auf der Oberfläche zu sein scheinen. Kaninchen und Hund, dann Katze, Widder und Meerschweinchen zeigen diese Ornamentierung gleichfalls, jedoch in absteigender Deutlichkeit. Bei vielen Wirbeltieren läßt sich zwischen Köpfchen und Faden noch das hier und da ziemlich deutlich sich abgrenzende Mittelstück unterscheiden; dasselbe ist das obere Ende des Fadens, das sich von dem unteren durch eine feine Querlinie absetzt. Das hier zunächst folgende Stück des Fadens wird jetzt als Übergangsstück bezeichnet. Außerdem sind noch ein Spiralfaden, Kopfkappe, Achsenfaden und anderes beschrieben, aber noch nicht so allseitig konstatiert, daß sie hier berücksichtigt werden dürften.

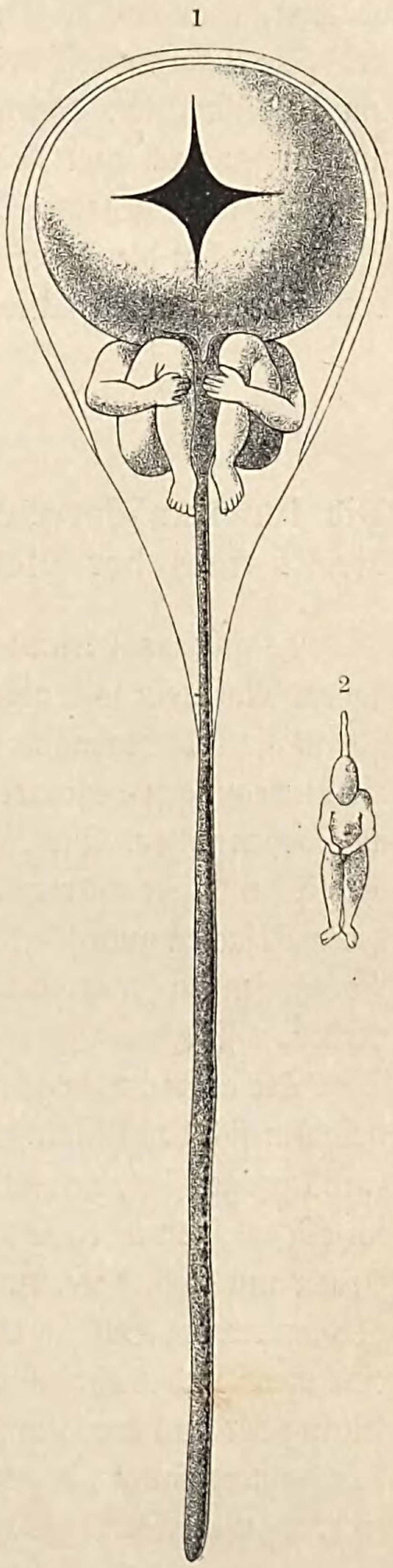
Die Entdeckung der Samenkörperchen des Menschen war eine der ersten Errungenschaften der Mikroskopie. Leeuwenhoek, welcher hier zuerst genauere Untersuchungen anstellte, nennt als Entdecker einen Studenten in Leiden, J. Ham; als Entdeckungsjahr wird 1677 angegeben. Die charakteristische Beweglichkeit dieser kleinen Gebilde mußte bei dem damaligen Stande der Kenntnisse über die Elementarstruktur der Organismen die Meinung hervorrufen, daß diese so

rasch aktiv hin und her sich stoßenden kleinen, kaulquappenähnlichen Gebilde wahre Tiere seien, und man gab ihnen daher den Namen Spermatozoa, Samentiere. Vielfach war man der vollkommen irrigen Meinung, daß diese „Samentiere" eigentliche Menschenlarven seien, und die Phantasie der alten Mikroskopiker wollte sogar den kleinen Menschen selbst schon in ihnen erkennen; wir geben nebenstehend zwei derartige, uns jetzt lächerlich erscheinende Abbildungen. Erst seit der Entdeckung der Zellstruktur der komplizierteren animalen Wesen gelang es, den Samenkörperchen ihre wahre physiologische Stellung anzuweisen.

Das Auffallendste an den Samenkörperchen ist unstreitig die aktive tierähnliche Beweglichkeit derselben. Doch haben wir gehört, daß auch hierin zum Teil sehr große Unterschiede vorhanden sind. Bei einigen niederen Tieren, z. B. bei den Asseln und Spinnen, fanden wir die Samenkörperchen bewegungslos, bei anderen, wie z. B. auch bei gewissen krebsartigen Tieren, zeigen sie nur langsame Formveränderungen, welche an die Bewegungen von Amöben erinnern. Am lebhaftesten ist die Beweglichkeit jener Formen, die mit einem längeren Faden ausgestattet sind. Doch bedarf es für alle einer Verdünnung der spärlichen Flüssigkeit, in welcher sie im männlichen keimbereitenden Organ eingebettet sind, zur Einleitung ihres Bewegungsspiels, was normal durch Zumischung anderer Ausscheidungsflüssigkeiten erreicht wird.

Die Mehrzahl der Samenkörperchen ist einer beträchtlichen Ortsveränderung fähig. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Bewegung der Körperchen geschieht, ist keine ganz geringe, in geeigneten Flüssigkeiten beträgt die Ortsveränderung in der Minute etwa 1,2—3,6 mm. Jene Formen mit den beschriebenen wellenförmig schwingenden, hautartigen Ansätzen schwimmen mit diesen gleichsam wie mit breiten Flossen. Bei den übrigen ist die Bewegungsart sehr mannigfach verschieden. Bei Vögeln, z. B. dem Kanarienvogel, pflegt die Bewegung eine gleichmäßig fortschreitende zu sein, beruhend auf raschen, bohrerartigen Achsendrehungen des ganzen Gebildes. Bei den Säugetieren und dem Menschen ist die Bewegung der kleinen Körperchen hüpfend und zuckend, wobei das Kopfende immer vorangestoßen wird.

Der oft gemachten Behauptung, daß die Bewegungen des Fadens durch Zusammenziehung des Protoplasmas des Köpfchens eingeleitet werden, muß man entgegenhalten, daß solche Zusammenziehungen des Köpfchens oder seiner Inhaltsmasse nicht beobachtet werden konnten, und daß auch Fäden, die ihr Köpfchen verloren haben, noch Bewegungen zeigen können. Aber unverkennbar besitzt die Bewegung der Samenkörperchen dieselben Eigentümlichkeiten und unterliegt denselben Bedingungen wie andere Protoplasmabewegungen im Pflanzen- und Tierreich, sie sind z. B. vollkommen übereinstimmend mit den Bewegungen der Flimmer- und Geißelzellen. Wie die letzteren, so erhalten sich auch die Bewegungen der Samenkörperchen am längsten und besten in ganz schwach alkalisch, laugenartig reagierenden Flüssigkeiten, wie sie ihnen der mütterliche Organismus darbietet.



Menschliche Samenkörperchen nach alten Darstellungen.
1) Abbildung nach der Theorie Hartsoekers; 2) entpupptes Spermatozoon, welches Dalepadius (de la Plantade) in dieser Gestalt gesehen haben wollte.

Die Lebenszähigkeit der männlichen Keime ist trotz ihrer Kleinheit eine ganz erstaunliche. Sind die Bewegungen durch gewisse chemisch-physikalische Einwirkungen verschwunden, so bringen sie oft die entgegengesetzten wieder zurück. Die Bewegungen eingefrorener Samenelemente kommen nach dem Auftauen wieder; man hat Samenkörperchen bei 0° tagelang beobachtet, ohne daß sie ihre Beweglichkeit eingebüßt hätten; auch Temperaturerhöhung vertragen sie. Sie erstarren erst bei einer Temperatur, welche die Normaltemperatur des Menschen etwa um 10° übersteigt. Bei getöteten Säugetieren sieht man die Samenkörperchen noch 48 Stunden und länger nach dem Tode beweglich; ja, im mütterlichen Organismus hat man sie noch acht Tage nach stattgehabter Übertragung vollkommen lebensfrisch, in starker Bewegung gefunden. Die Natur hat die Keime, aus denen sie die neuen Generationen hervorbringt, mit einer Summe von Energien ausgestattet, welche ihrer hohen Aufgabe entspricht.

Die inneren Vorgänge im Protoplasma des mütterlichen Keimes vor und direkt nach der Befruchtung. Zellteilung. Struktur des Protoplasmas.

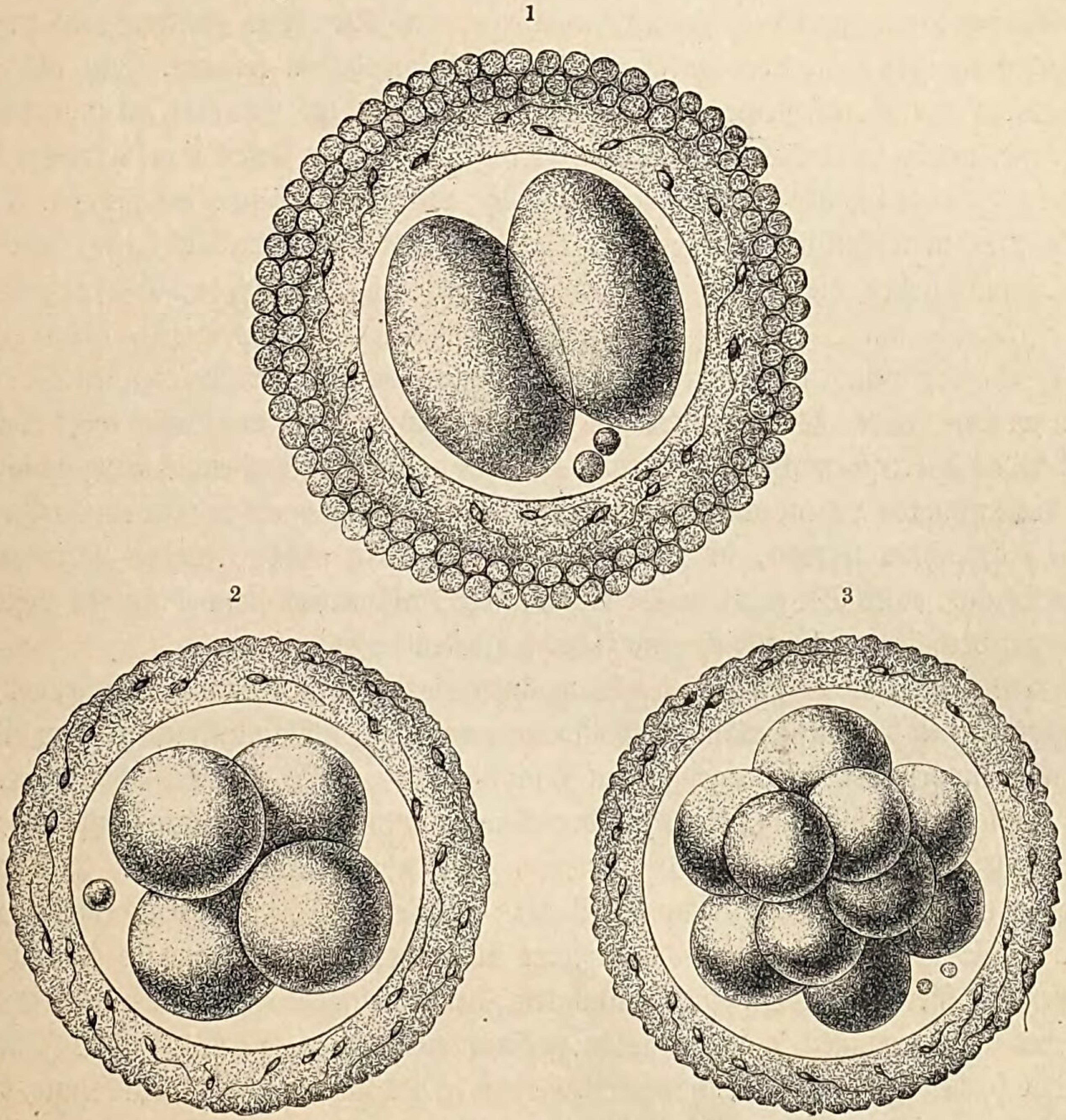
Es gibt wohl keinen Gegenstand der naturwissenschaftlichen Beobachtung, welcher in ähnlich hohem Maße ein so inniges Interesse, eine so lebhafte geistige Spannung erweckt, gleichzeitig die Phantasie des Beobachters so mächtig erregt wie ein durchsichtiges Ei, das vor unseren Augen die Bewegungen beginnt, welche mit der Ausbildung eines fertigen komplizierten Organismus abschließen sollen. Die Wunder der ersten Bildung eines neuen Lebens aus der für unsere Augen chaotisch undifferenzierten Protoplasmamasse des mütterlichen Bildungskeimes durch Bewegungen, deren Ursachen und Verlauf wir nicht kennen, haben nur ihr gleichwertiges Gegenstück in den Vorgängen im Inneren der zentralen Nervenzellen, mit deren Thätigkeit die geistigen Leistungen verknüpft sind.

Die ersten Vorgänge der Ei-Entwickelung sind außerordentlich einfach. Sie bestehen, nachdem sich der Bildungsdotter unter Auspressen von Flüssigkeit etwas von der Zona pellucida zurückgezogen hat, wodurch zwischen beiden eine schmaler, mit Flüssigkeit erfüllter Raum entsteht, im allgemeinen in einer Teilung des Bildungsdotters zunächst in 2, dann in 4, 8, 16, 32 2c. kleiner und kleiner werdende Teilstücke, welche, der Form und inneren Bildung nach dem Protoplasmaleib des Bildungsdotters sehr ähnlich, sich von diesem, wie es scheint, wesentlich nur durch eine mehr und mehr abnehmende Größe unterscheiden. Endlich entsteht durch fortgesetzte Zweiteilung der aus dem primären Zerfall des Dotters hervorgegangenen Teilstücke eine große Anzahl sehr kleiner, nackter, kugeliger Protoplasmagebilde, jedes mit einem Zellkern versehen, die sich zu einer maulbeerförmigen Kugel zusammenlagern.

Da die Teilung des Eiprotoplasmas, des Bildungsdotters, sich mit der Bildung einer Furche, welche die Dotterkugel äquatorial umspannt, einleitet, ein Vorgang, der sich bei der Entstehung jedes der neuen Teilungsstücke wiederholt, so bezeichnet man den ganzen Vorgang als Eifurchung oder Furchung. Die durch den Furchungsprozeß gebildeten neuen Protoplasmakörper werden als Furchungszellen oder Furchungskugeln bezeichnet. Sie sind gleichsam die Bausteine, von denen in der Folge diejenigen ausgewählt werden, aus denen sich der neue komplizierte Organismus selbst aufbauen soll.

Man war seit langem darauf aufmerksam, daß vor und bei dem Eintritt der Furchung gewisse Umwandlungen innerhalb des Eiprotoplasmas sich einstellen. Namentlich bei niederen Tieren beobachtete man zunächst ein Schwinden des im Keimbläschen, in dem Zellkern des

unbefruchteten mütterlichen Keimes, sich als ein kernartiges Gebilde abhebenden Keimfleckes, der dem Kernkörperchen anderer Zellen entspricht. Aber auch das ganze Keimbläschen sollte sich auflösen, seine Substanz mit dem übrigen Eiprotoplasma vermischen und so jene Erneuerung oder Verjüngung der Eizelle hervorbringen, die wir oben als Grundbedingung jeder Zellvermehrung dargestellt haben. Auffallenderweise sah man, daß nicht das gesamte Eiprotoplasma, das der Furchung unterliegt, auch wirklich zur Bildung der Furchungszellen Verwendung findet, sondern daß meist zwei kleine Protoplasmaklümpchen aus dem sich furchenden Ei ausgestoßen



Die Furchung eines befruchteten Hunde-Eies. Stark vergrößert.

1) Erste Generation der Furchungszellen (zweiteilig); 2) zweite Generation (vierteilig); 3) vierte Generation (sechzehnteilig). In 1) und 3) sieht man zwei, in 2) nur ein Richtungskörperchen. Die durchsichtige Zone des Eies ist in allen drei Figuren mit zahlreichen Samenkörperchen besetzt; ihre äußere Begrenzung ist in 1) noch mit den Zellen des Keimlagers aus dem Follikel besetzt, welche auch in 2) und 3) die äußere Grenze der durchsichtigen Zone unregelmäßig erscheinen lassen.

werden, die in der Folge, ohne weitere erkennbare Beteiligung an dem Entwickelungsgang, früher oder später zu Grunde gehen. Da sie an dem Pole des Dotters auftreten, an welchem sich die erste Furche zur Abtrennung der ersten beiden Furchungskugeln bildet, so hat man sie als Polzellen oder, einen dunkeln Zusammenhang vermutend, als Richtungskörperchen bezeichnet. Aber diese Vorgänge haben erst in der neuesten Zeit eine überraschende Aufklärung erfahren, die den vorher immerhin nur in seinem schematischen äußeren Verlauf bekannten Vorgang der Eifurchung in seinem inneren Wesen viel weiter aufgehellt und dabei ganz neue Anschauungen eröffnet hat über jene inneren Baudifferenzierungen im Protoplasma, auf welche wir

im vorstehenden schon vielfach hindeuten mußten. Ihrer Betrachtung und Darstellung haben wir uns nun eingehender zuzuwenden. Sie wurden zunächst in dem Vorgang der Zellteilung erkannt.

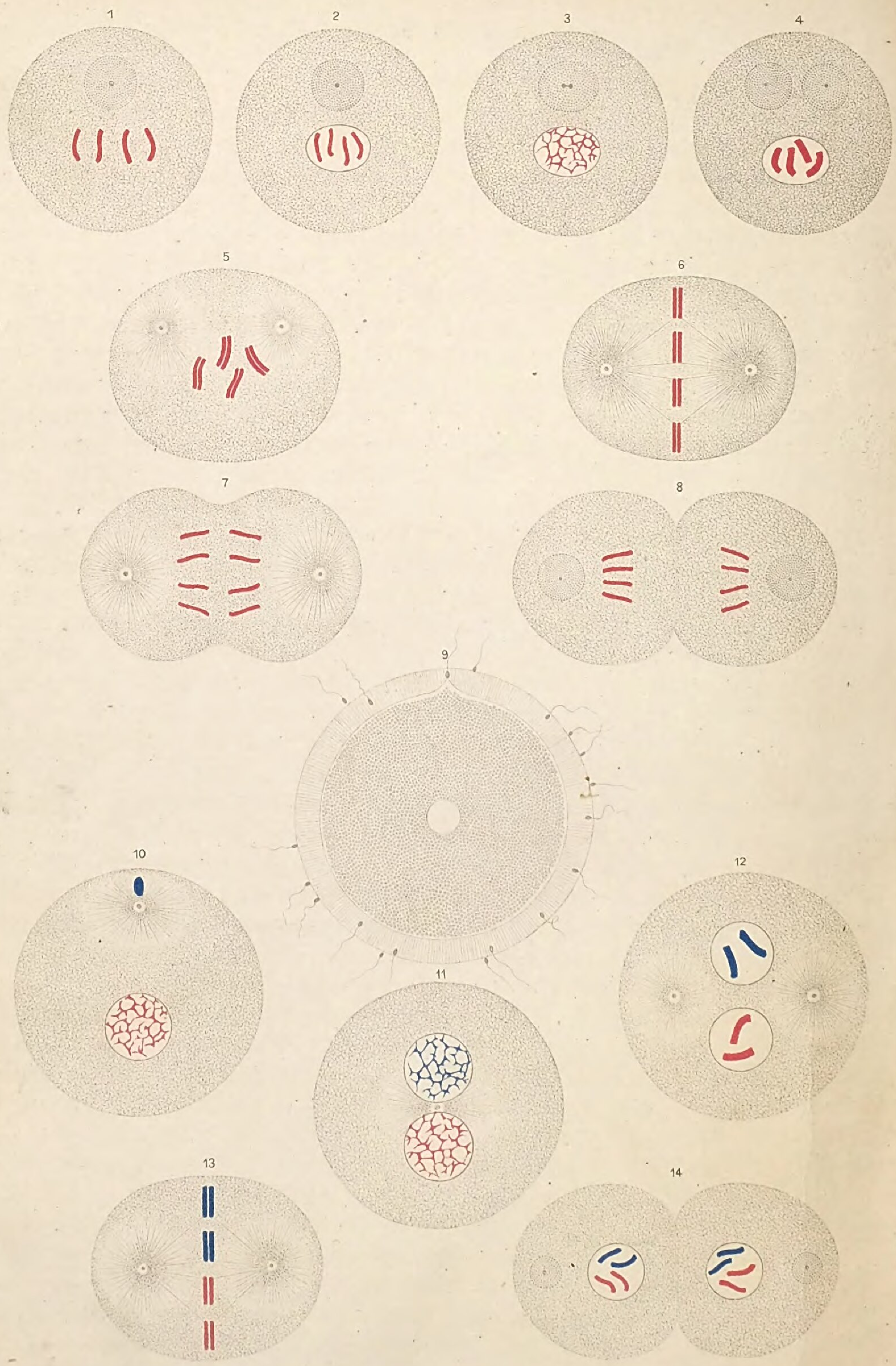
Namentlich die neuentdeckten Beziehungen des Zellkerns zur Zellteilung[1] waren es, von denen die neuen Erfahrungen über den inneren Bau des Protoplasmas und seine inneren Differenzierungen ausgingen. Man hatte den Zellkern im ganzen aus dem Protoplasmaleib der Zelle sich gleichsam ausscheiden lassen, in ihn sollte er sich bei jenem „Verjüngungsprozeß" zur Einleitung der Zellvermehrung wieder auflösen. Aber diese Auflösung ist keineswegs eine vollkommene, der wesentlichste Teil des Kernes wird davon nicht betroffen, zwischen dem Plasma des Zellleibes, wie man den Protoplasmakörper der Zelle ohne Zellkern nun zu benennen pflegt, und dem Plasma des Zellkerns bestehen sowohl im feineren Bau als im chemischen Verhalten der Bauelemente weitgehende Differenzen. Es sind die berühmtesten Namen der Anatomie, welche in den letztvergangenen beiden Jahrzehnten diesen Umschwung über das Wesen des Protoplasmas, das man bis dahin vielfach im Sinne der neueren Naturphilosophie als eine im wesentlichen ungeformte chaotische Substanz betrachtet hatte, hervorgebracht haben. Obenan stehen die Namen der Gebrüder Hertwig, Kupffer, Waldeyer, für das Pflanzen-Protoplasma Straßburger, an welche sich Rabl, Flemming, Boveri u. a. mit den wichtigsten Ergänzungen anreihen. Es ist hier nicht der Ort, den Verdiensten dieser Forscher gerecht zu werden, aber das müssen wir aussprechen, daß erst auf der Basis ihrer Resultate ein neues, über das ältere schematische Protoplasmatheorem fortschreitendes Verständnis der Verhältnisse des animalen Lebens aufgebaut werden kann. Als Beginn der neuen Epoche muß das Jahr 1875 bezeichnet werden, in welchem es O. Hertwig glückte, in den Eiern von Toxopneustes lividus, eines Seeigels, ein Objekt zu finden, an welchem sich die inneren Befruchtungserscheinungen verhältnismäßig leicht und sicher feststellen lassen.

Die neuen Untersuchungen gestatten kaum einen Zweifel mehr darüber, daß sowohl Zellleib wie Zellkern einen verhältnismäßig hochdifferenzierten inneren Bau aufweisen. Im allgemeinen erkennt man in den beiden ebengenannten Hauptteilen der Zelle eine flüssigere, hellere, mehr homogen aussehende Substanz, der man den Namen durchsichtige Bildungssubstanz, Hyaloplasma, gegeben hat, welche aber für Kern und Zellleib verschieden erscheint. In dieselbe sind Bildungen von mehr fädiger Struktur eingelagert, aus festerer, chemisch vom Hyaloplasma verschiedener Masse bestehend, welche selbst wieder in größerer oder geringerer Anzahl Körnchen oder Körperchen, hier und da von ganz bestimmten Formen, eingebettet enthalten. Diese vergleichsweise festeren Einlagerungen in die durchsichtige Grundsubstanz des Kernes, in das Hyaloplasma, welch letztere so beweglich erscheint, daß sie R. Hertwig als Kernsaft bezeichnen konnte, besitzen, in den verschiedenen Zuständen der Zelle in etwas verschiedenem Grade, im Gegensatz zu der Grundsubstanz des Kernes und der Hauptmasse des Zellleibes ein besonderes Anziehungsvermögen für gewisse Farbstoffe, wie sie der Mikroskopiker zur Färbung seiner Präparate zu verwenden pflegt. Man hat ihnen daher zuerst den Namen färbbare oder chromatische Elemente oder nach Waldeyer Chromosomen gegeben und nennt die Substanz, aus welcher sie bestehen, Chromatin. Von diesem Gesichtspunkt aus heißt dann im ganzen der übrige nicht oder viel weniger färbbare Teil der Zellmasse achromatische Substanz, obwohl diese noch die wesentlichsten chemischen und Baudifferenzen erkennen läßt. Der einheitliche Name will hier sonach noch kein einheitliches inneres Wesen bezeichnen.

Es war lange bekannt, daß in dem Zellkern sich außer dem Kernkörperchen noch eine Anzahl von chromatischen Körnchen befindet. Der Fortschritt bestand zunächst darin, daß man nachweisen

[1] Der im Folgenden geschilderte Vorgang ist der der sogenannten indirekten Zellteilung, neben welcher bei einigen Pflanzen- und Tierzellen, z. B. bei Leukocyten, noch in seltenen Fällen eine direkte Teilung konstatiert scheint. Zwischen beiden Formen finden sich übrigens Übergänge.

Ranke, der Mensch



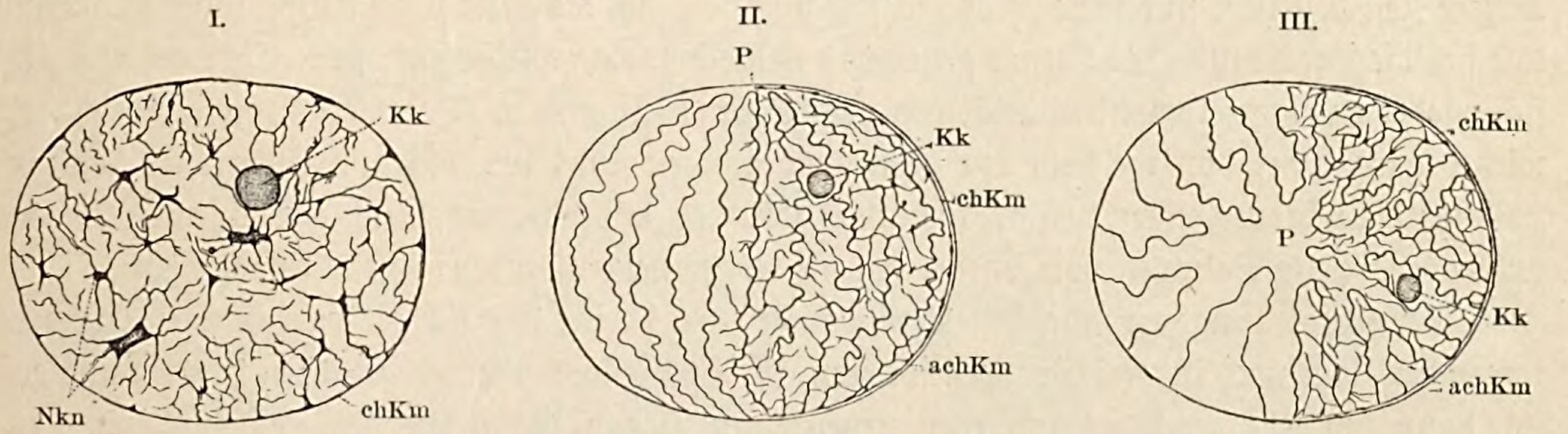
SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER ZELLTEILUNG UND BEFRUCHTUNG.

(Nach Boveri.)

Fig. 1–8 Zellteilung, Fig. 9–14 Befruchtung. (*Rot:* Eikern, *Blau:* Samenkern.)

konnte, daß diese Körnchen durch feine Verbindungsfäden untereinander verknüpft sind, wodurch im Kern ein Netz- oder Schwammwerk von Fäden gebildet wird, ein Kerngerüst oder Kernnetz, als dessen Knoten jene verschieden großen Körner erscheinen, während die Kernkörperchen ohne Verbindung mit dem Kernnetz sind und sich auch chemisch anders verhalten (s. untenstehende Abbild., Fig. I).

Das Kernnetz bildet an der Grenze des Kernes gegen den Zellleib eine Art von durchbrochener chromatischer Membran, um welche sich, wahrscheinlich vom Zellleibplasma geliefert, noch eine weitere, weniger gut färbbare Hülle, die achromatische Kernmembran, lagert. Nach Rabl zeigt jedes gut ausgebildete Kernnetz sowohl dickere primäre Fäden als dünnere sekundäre, welche von den ersteren als Ästchen abgehen und durch ihre Verbindung mit benachbarten das Netzwerk entstehen lassen (Fig. II). Die primären Fäden sind in ganz bestimmter Weise in dem Kerne angeordnet, sie sind zu offenen Schleifen zusammengebogen. Die Umbeugungsstellen der Schleifen, ihre geschlossenen Enden, liegen sämtlich auf einer Seite des Kernes um ein helles Feld, das Polfeld, herum (Fig. III.), während die offenen Enden auf der Gegenpolseite frei in ver-



Kernschemata: I. Kerngerüst, II. Kernnetzschema von der Seite, III. dasselbe von oben.
Kk) Kernkörperchen, Nkn) chromatische Körner, chKm) chromatische Kernmembran, achKm) achromatische Kernmembran, P) Polfeld.

schiedener Weise endigen. Hier und da verbinden sich hier die offenen Enden benachbarter Schleifen zu einem ununterbrochenen Faden. Übrigens zeigen keineswegs in allen Zellen die Chromosomen diese Schleifenform, sie können auch als Stäbchen, ja auch als Körnchen auftreten.

Vieles scheint dafür zu sprechen, daß auch im Zellleib ein ähnliches Netzgerüst in ein Hyaloplasma eingebettet existiert. Eine ganze Reihe von Differenzierungen des Zellleibplasmas sind seit lange bekannt, welche auch in einem Gegensatz zwischen einer mehr fädigen und einer mehr homogenen, erstere umlagernden Substanz gipfeln: in den Nervenzellen, den Wimperzellen, den Drüsenzellen mit Stäbchenstruktur u. a.; auch die Fäserchen der Achsencylinder der Nervenfasern sowie die feinsten Fibrillen der mikroskopischen Muskelfasern gehören in diese Gruppe der Differenzierungserscheinungen des Zellleibplasmas. Manches bleibt hier zwar noch dunkel, aber so viel ist sicher, daß das Plasma des Zellleibes nicht etwa eine in den Lebensvorgängen der Zelle dem Zellkern gegenüber sich wesentlich passiv verhaltende Substanz ist, sondern daß es, wenigstens durch einen besonders wesentlichen Bestandteil, das Archoplasma Boveris, sich ganz besonders aktiv erweist.

Diese Verhältnisse werden anschaulicher, wenn wir eine Zelle von einem bestimmten Zustande an in ihren Schicksalen bis zur Teilung begleiten und ebenso die beiden aus der Teilung hervorgegangenen Tochterzellen, in welchen sie von da an weiter lebt, bis diese letzteren selbst wieder den Zustand erreicht haben, von dessen Betrachtung bei der Mutterzelle wir ausgegangen sind. Die beigeheftete Tafel zeigt diese verschiedenen Stadien der Zellteilung nach Boveri halbschematisch, der Hauptsache nach sind bei der Teilung des Eies von Ascaris megalocephala konstatierte Verhältnisse zu Grunde gelegt.

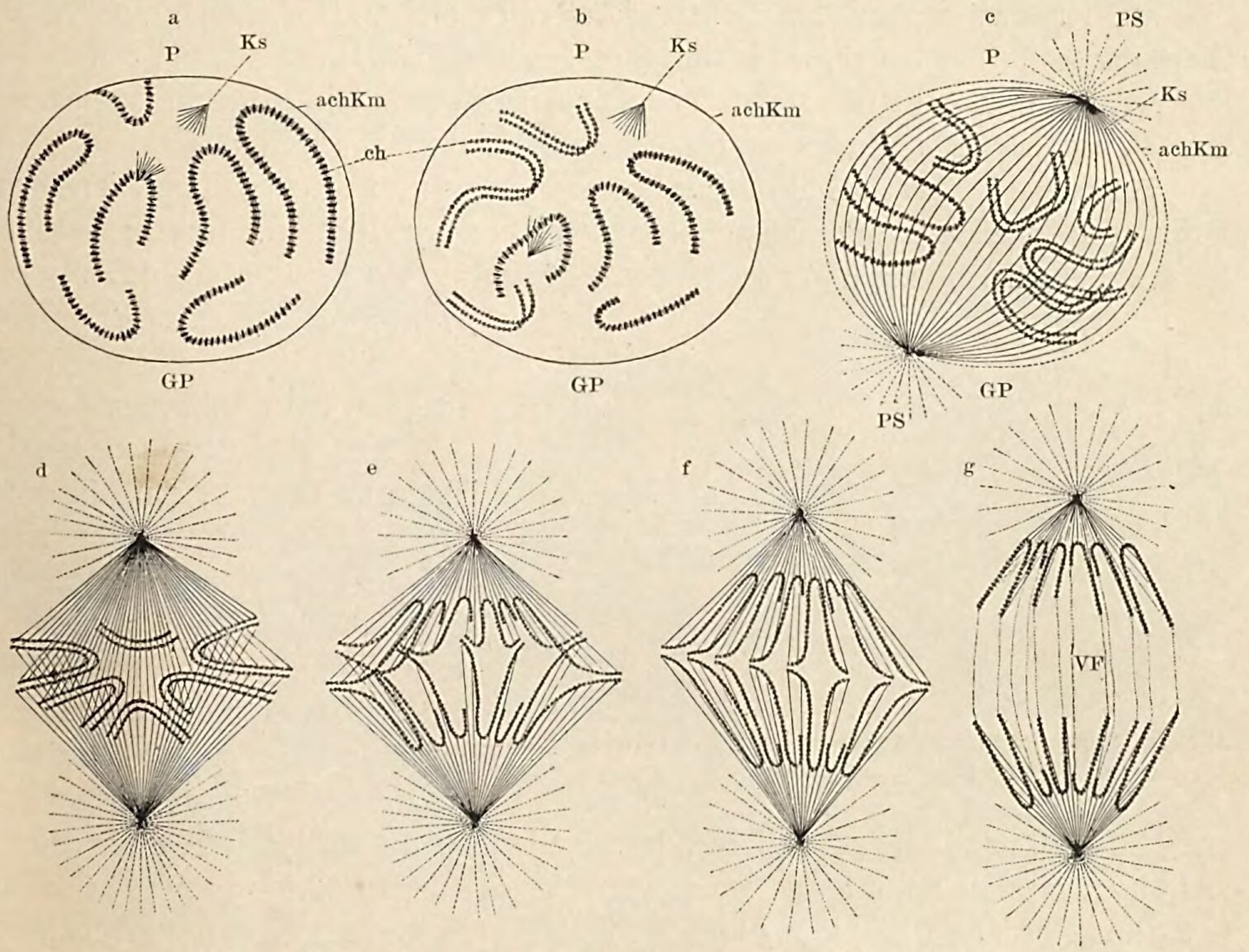
Eine Zelle, welche soeben durch Teilung einer Mutterzelle entstanden ist (Fig. 1 der Tafel) zeigt streng genommen keinen Kern. An dessen Stelle treten lediglich die Chromosomen als stäbchen- oder

strang-, resp. schleifenförmige Körper deutlicher hervor. Sehr bald nach vollzogener Zellteilung erkennt man jedoch das sie umgebende Kern-Hyaloplasma wieder; es entsteht wieder ein bläschenförmiger Zellkern, gegen welchen sich das Plasma des Zellleibes durch eine Membran, die achromatische Kernmembran, abgrenzt. Das Kern-Hyaloplasma löst sich also seiner Hauptmasse nach nicht in dem Plasma des Zellleibes auf, sondern bleibt während der Teilung von diesem gesondert, nur die achromatische Kernmembran ist verschwunden (Waldeyer). Bei der Kernteilung teilt sich das Kern-Hyaloplasma mit. Durch die Abgrenzung gegen das Zellleibplasma ist in diesem Stadium für die Chromosomen gleichsam wieder ein eignes Haus in der Zelle gebaut (Fig. 2). Nun erfolgt eine höchst auffallende Veränderung in der Gestalt der Chromosomen. Wie ein fest zusammengepreßtes Fischnetz, welches man in reichliches Wasser gelegt hat und darin flottieren läßt, löst sich jeder der Chromatinkörper zu einem feinmaschigen Gerüstwerk auf, und dann erscheint der bläschenförmige Kern von jenem oben beschriebenen und abgebildeten typischen Netzwerk chromatischer Substanz durchsetzt (Fig. 3). In diesem Zustande bleibt der Kern längere oder kürzere Zeit bestehen, nur seine Größe wächst noch, bis sich die Zelle zur Teilung anschickt. Dann löst sich die Begrenzung des Kernes gegen das Zellleibplasma wieder auf; jedes Chromosoma zieht sich wieder zu einem kompakten Stäbchen oder Strang zusammen. Das Verhältnis entspricht jetzt wieder ganz dem, von welchem wir oben ausgegangen sind, nur mit dem Unterschied, daß inzwischen die Chromosomen, während sie das Kernnetz bildeten, wesentlich gewachsen sind, etwa auf das doppelte Volumen von jenem, das sie in der neuentstandenen Zelle besessen haben.

Der Kernteilungsvorgang besteht nun nicht etwa darin, daß sich die vorhandenen Chromosomen der Zahl nach in zwei Gruppen sondern, ihr Hyaloplasma in zwei Hälften trennen und daß sich dann um jede der so entstandenen neuen Kernanlagen die Hälfte des Zellleibplasmas zusammenzieht: der Vorgang ist ein viel feinerer. Es spaltet sich nämlich, wie zuerst Flemming nachgewiesen hat, jedes Chromosoma der Länge nach in zwei identische Hälften (Fig. 5), und erst von diesen beiden Teilstücken wird jetzt das eine dieser, das andere jener Tochterzelle zugeleitet. Um diese Verteilung durchzuführen, tritt, wie wir speziell nach den Angaben von Boveri hier beschreiben wollen, ein komplizierter Apparat in Thätigkeit. Schon in der eben aus der Teilung hervorgegangenen Zelle (Fig. 1) zeigt sich neben den Chromosomen im Zellleibplasma ein kleines Körperchen, das Zentralkörperchen, von dichterem Protoplasma umgeben, mit dem es das oben erwähnte Archoplasma bildet. Als erste Andeutung einer eintretenden Zellteilung, noch ehe die Chromosomen wieder in den strang- oder stäbchenförmigen Zustand zurückgekehrt sind, ist an dem Zentralkörperchen eine bedeutsame Veränderung eingetreten; es hat sich in zwei Hälften geteilt (Fig. 2 und 3), die sich immer weiter voneinander entfernen und wie vorhin das noch einfache Korn, so finden wir jetzt beide von einem kugeligen Hof dichteren Protoplasmas umhüllt. Die Teilung des kleinen, wie gesagt dem Plasma des Zellleibes angehörigen, unscheinbaren Körperchens ist also der einleitende Schritt zur Teilung der Zelle; die beiden Hälften desselben sind das erste, was von den beiden Tochterzellen gebildet wird, sie sind die dynamischen Mittelpunkte, welche die Richtung der Zellteilung bestimmen, nachdem vorher unter ihrem Einfluß die Verteilung der Kernsubstanz vollzogen ist. Nachdem die Zentralkörperchen eine gewisse Entfernung voneinander erreicht haben und die Chromosomen durch eine farblose Längslinie in ihrer Mitte anzeigen, daß sie sich zur Spaltung vorbereiten (Fig. 5), erkennt man im Umkreis der beiden Zentralkörperchen eine Anordnung fädiger Strahlen, die sich radienartig um die beiden Zentren gruppieren wie Eisenfeilspäne um den Magnetpol. Offenbar unter dem Einfluß dieser Strahlen ordnen sich die Chromosomen in der Mitte zwischen beiden Polen zu einer äquatorialen Platte von solcher Genauigkeit, daß die ganze Figur mit ihren beiden Strahlensonnen eine fast mathematische Regelmäßigkeit annimmt (Fig. 6). Jedes der chromatischen Elemente ist dabei in der Äquatorialplatte so orientiert, daß von den

beiden schon vorbereiteten Spalthälften die eine diesem, die andere jenem Pole zugekehrt ist. Von den Plasmafädchen, welche jederseits gegen die Chromosomen ausstrahlen, sind einzelne als „Radien“ jedes Poles an die demselben zugekehrten Hälften der Chromosomen festgeheftet.

Mit dieser Verbindung, durch welche jedes der neuen Zellenzentren die eine Hälfte eines jeden Chromosoma mit Beschlag belegt hat, sind die Vorbereitungen zur Teilung beendigt, und nun erfolgt dieselbe mit großer Raschheit als ein sehr einfacher Vorgang. Die lange vorbereitete Spaltung der Chromosomen kommt zum Vollzug, die beiden Hälften lösen sich der Länge nach, und nun



Kernteilung, schematisch, nach Schiefferdecker u. Kossel und Rabl.

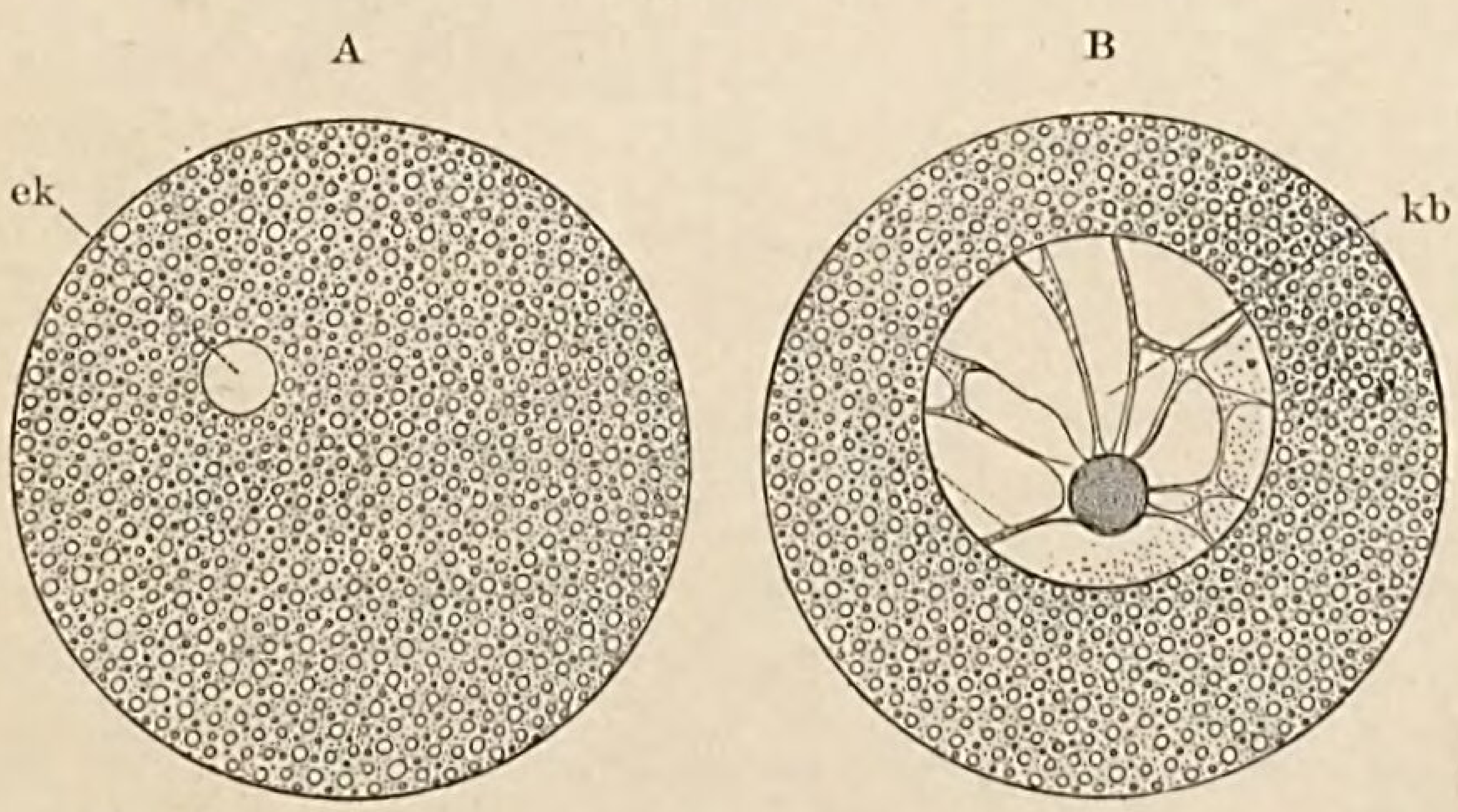
a, b, c) Schleifenrichtung und -Teilung; ch) Chromosomen; P) Polseite; GP) Gegenpolseite; PS) Polstrahlung; Ks) Kernspindel, in a) und b) nur angedeutet in c) schematisch ausgezeichnet; achKm) achromatische Kernmembran, in den folgenden Darstellungen weggelassen; d) Mutterstern; e und f) Schleifentrennung und Polwanderung: e) früheres, f) späteres Stadium; g) Tochtersterne: VF) Verbindungsfäden.

weichen die beiden Zentralkörperchen nach entgegengesetzten Richtungen auseinander, jedes die mit ihm verbundenen Chromosomenhälften mit sich führend (Fig. 7). Gleichzeitig streckt sich der Zellkörper in die Länge, er schnürt sich, wie vorher das Kern-Hyaloplasma, in der Mitte zwischen den beiden Zentren ringsum ein und zerfällt schließlich in zwei Hälften. Damit ist die Teilung vollendet. Wenn sich die beiden Strahlensonnen um die Zentralkörperchen wieder zurückgebildet haben, sehen wir die zwei neuentstandenen Tochterzellen vor uns, genau in dem gleichen Zustande, den wir vorhin bei der Mutterzelle als Ausgangspunkt für unsere Betrachtungen gewählt haben (Fig. 8). Auf diese Weise erhält jede Tochterzelle ebensoviel Chromosomen, wie in der Mutterzelle vorhanden waren; es ist ja jedes dieser Körperchen ein Abkömmling eines bestimmten Chromosoma der Mutterzelle, und so erbt sich die einmal gegebene Zahl von einer Zellengeneration auf die nächste fort. Die Zahl 4, welche in den Figuren der Tafel gezeichnet ist, kommt bei manchen Tieren wirklich vor. Gewöhnlich ist jedoch diese Zahl größer, sie kann 100, ja 200 übersteigen. Allein für ein und dieselbe Tier- oder Pflanzenart ist die Zahl in den homologen Zellen konstant.

Durch diese größere Anzahl der Chromosomen und durch die, nicht wie in diesem nach Boveri gewählten Beispiel, stäbchenförmige, sondern lang-schleifenförmige Gestalt der chromatischen Körper ist das mikroskopische Bild der Zellteilung ein ziemlich wechselndes. Im allgemeinen gibt sich aber auch trotz der Komplizierung das eben gezeichnete Schema des Gesetzes deutlich zu erkennen. Wir geben auf S. 97 eine Abbildung eines solchen, durch die Schleifenform und größere Anzahl der Chromosomen etwas komplizierter erscheinenden Zellteilungsvorganges im wesentlichen nach den Untersuchungen Rabls.

Rabl hat wie Boveri das Zentralkörperchen oder Polkörperchen anerkannt; das Mittelstück der Polstrahlungen, welches ausgesprochen spindelförmig erscheint, ist die Richtungsspindel oder achromatische Kernspindel, auf welche man bei der Kernteilung und bei der Bildung der Richtungskörperchen des Eies am ersten aufmerksam geworden war.

Der innere Vorgang des Verjüngungsprozesses des Eies und in gewissem Sinne auch die Befruchtung desselben schließen sich auf das Innigste den eben geschilderten feineren Verhältnissen der Zellteilung an. Zunächst gilt das für die Umbildung des Keimbläschens und die Abtrennung der Richtungskörperchen, welch letztere geradezu als Zellteilung oder besser Zellknospung erscheinen.



A) Reifes, B) unreifes Ei eines Echinodermen nach O. Hertwig: ek) Eikern, kb) Keimbläschen.

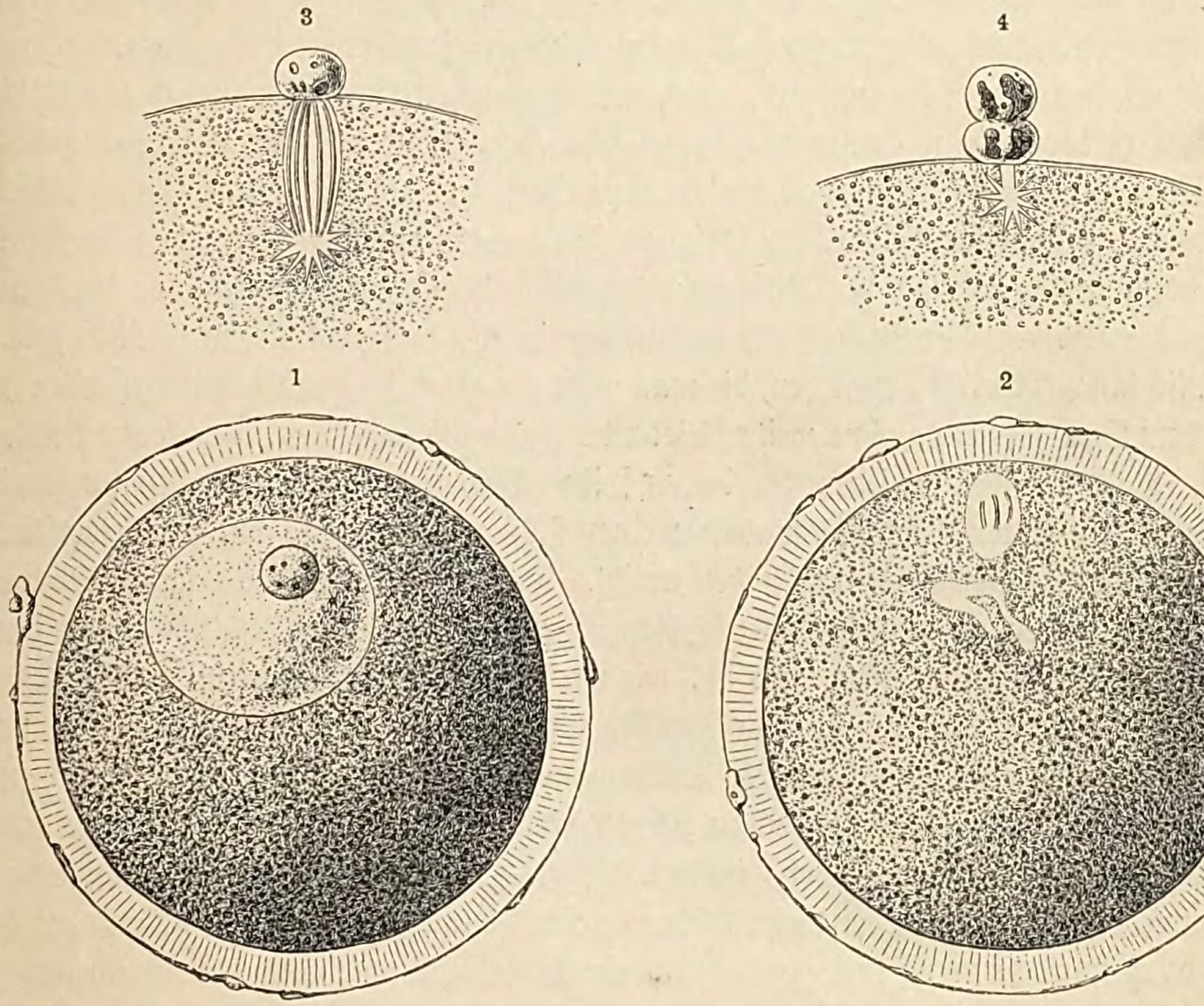
Auch diese Vorgänge werden von einem unverkennbar einheitlichen Gesetz beherrscht, das sich, trotz der mannigfachen Verschiedenheiten im einzelnen, in den allgemeinsten Zügen immer wieder bewahrheitet. Auch hier dürfen wir also von den Beobachtungen an niederen animalen Wesen auf ähnliche Vorgänge in der Entwickelung des Menschen zurückschließen. Und obwohl sich im speziellen sehr wesentliche Unterschiede zwischen den ersten Entwickelungsvorgängen der niederen Tiere und der höchsten animalen Wesen geltend machen mögen, so bietet uns doch die Untersuchung bei den ersteren ein lebenswahres Bild von Verhältnissen dar, die bei dem Menschen wohl niemals Gegenstand direkter Beobachtung werden können. Daß übrigens bei Säugetieren wenigstens ganz ähnliche Vorgänge eintreten, ist schon erwiesen.

An niederen Tieren ist zunächst der Verjüngungsprozeß der Eizellen, dann aber auch der innere Vorgang bei der Verschmelzung der männlichen und weiblichen Keime sehr genau erforscht worden. Wir erkennen auch wieder aus diesen Entdeckungen, wie die nur scheinbar chaotischen Protoplasmamassen in gesetzmäßigem Verlauf der Umbildungen den ihnen durch ihre innere Struktur vorgeschriebenen Weg zurücklegen.

Die folgenden Beschreibungen beziehen sich vorzüglich auf die relativ leicht zu beobachtenden Eier der Echinodermen, Seeigel und Seesterne, welche den oben beschriebenen Eiern der ihnen nächstverwandten Holothurien sehr ähnlich sind. Zwischen dem Vorgang in den Eiern der Seeigel und der Seesterne besteht normal insofern ein beachtenswerter Unterschied, als der nun näher zu beschreibende Verjüngungsvorgang, welcher das Ei zur Fortpflanzung und zur Aufnahme des männlichen Keimes geeignet macht, sich bei den Seeigeln wie bei den Säugetieren schon vor der Ablage der Eier noch im Inneren des mütterlichen keimbereitenden Organes abspielt, bei den Seesternen aber erst dann, wenn die Eier in das Wasser gelangt sind. Bei allen Eiern ist aber der Eintritt des Verjüngungsvorgangs des Eiprotoplasmas vollkommen unabhängig von der Anwesenheit und Mitwirkung männlicher Keime.

Im allgemeinen haben wir es mit Bewegungen im Dotterprotoplasma zu thun.

Die uns zunächst beschäftigenden Eier (Fig. 1 der untenstehenden Abbildung) bestehen, wie die der Holothurien und der Säugetiere, aus einem kugeligen Protoplasmaklumpen, dem Dotter. Eine äußere dünne Schicht des letzteren unterscheidet sich durch ein sehr feinkörniges, fast vollkommen klares Aussehen von der körnigen Hauptmasse des Dotters, welcher sich danach aus Kupffers Para- und Protoplasma zusammengesetzt erweist (vgl. oben S. 60, Anmerkung). Der Dotter wird von einer ziemlich dicken „durchsichtigen Zone" umhüllt, welche im reifen Zustande jene feinen Streifungen und Durchbohrungen erkennen läßt, auf die schon bei der Beschreibung



Reifes Ei eines Seesternes und seine innere Vorbereitung auf die Befruchtung. Stark vergrößert.
1) Reifes Ei eines Seesternes (Asterias glacialis) mit Keimbläschen und Keimfleck; 2) dasselbe, in welchem das Keimbläschen im Begriff ist, sich zur Richtungsspindel umzuwandeln; 3) Stück desselben Eies mit der Richtungsspindel, von der sich das erste Richtungskörperchen abzuschnüren im Begriff steht; 4) außerhalb des Dotters erkennt man die abgeschnürten beiden Richtungskörperchen, im Dotter die zurückgebliebene Partie der Richtungsspindel mit dem einen der Doppelsterne.

der Holothurien-Eier hingewiesen wurde (vgl. S. 83 u. 84); sie dienen einesteils zur Erleichterung des für die Eiatmung nötigen Gas-, resp. Flüssigkeitsaustausches, anderseits erleichtern sie vielleicht wohl auch in der Folge das Eindringen der Samenkörperchen.

Bei der Ei-Reifung treten die wichtigsten Umwandlungen im Keimbläschen ein. Das Keimbläschen eines an der Grenze der beginnenden Reife stehenden Eies (Fig. 1 obiger Abbildung) zeigt die wesentlichen Eigenschaften eines Zellkernes mit achromatischer Hüllmembran, chromatischem Kernnetz, eingebettet in ein Hyaloplasma, mit dem Keimfleck als Kernkörperchen. Die Vorbereitung des Eies auf die in der Folge eintretende Vermehrung oder Fortpflanzung durch Teilung besteht nun in einem Umwandlungsprozeß des Keimbläschens, welcher im wesentlichen mit der oben geschilderten Kernumwandlung der sich teilenden Zellen identisch ist.

Es ist interessant, die ersten Stadien der Entdeckung zu verfolgen. Nach den Beobachtungen von Fol und anderen sollte sich die erste Veränderung im Keimbläschen darin zu erkennen geben,

daß seine hautartige Hülle schlaff werde, sich falte. Dadurch werde der Umriß des Keimbläschens zunächst unregelmäßiger. Gleichzeitig werde das Gebilde blässer und mehr und mehr undeutlich, endlich entziehe es sich der Beobachtung. Es scheine schon verschwunden, wenn man durch geeignete chemische Einwirkungen seine letzten Reste, namentlich die gefaltete, vielleicht zerrissene Hülle, noch sichtbar machen könne (Fig. 2, S. 99); endlich sollten sich auch diese Reste auflösen und sich mehr oder minder mit dem Dotter mischen. Auch der Keimfleck zerbröckele und löse sich auf.

Aber vollkommen ist die Masse des Keimbläschens trotz der Auflösung der sie bis dahin zusammenhaltenden Form nicht verschwunden. In der dunkeln, grobkörnigen Substanz des Dotters erkennt man noch die Stelle, wo das Keimbläschen sich scheinbar aufgelöst hat, als einen durchsichtigeren, undeutlich abgegrenzten Fleck einer hellen, feinkörnigen Substanz. Von dieser geht nun der merkwürdige Vorgang aus, welcher nach manchen Umwegen endlich zur Bildung eines neuen Eikernes an Stelle des aufgelösten Keimbläschens führt. Dieser Bildungsvorgang wird dadurch eingeleitet, daß die Hauptmasse jener aus der „Auflösung" des Keimbläschens hervorgegangenen hellen, feinkörnigen Protoplasmamasse gegen die Oberfläche des Eies wandert, um sich hier an der Bildung eines spindelförmigen Körpers, der Richtungsspindel, zu beteiligen. Der Name sollte darauf hindeuten, daß aus diesem Gebilde jene oben erwähnten Richtungskörperchen entstehen, die man wohl als einen bald zu Grunde gehenden „Auswurf" aus dem Eiprotoplasma ohne weitere Bedeutung für die fortschreitende Eientwickelung bezeichnet hat. Bald sah Fol an jedem der beiden spitzen Enden, den Polen der Richtungsspindel, eine geringe Menge klaren Protoplasmas wie einen Hof angesammelt, welches beiderseits wie ein kugeliger Endknopf an den Spindelspitzen ansitzt. Dadurch bekommt das ganze Gebilde, die Spindel mit den beiden ansitzenden hellen Höfen oder Knöpfen, eine Gestalt, die an das als Hantel bekannte Turngerät erinnert. Es ist, wie wir nach dem über Zellteilung Gesagten leicht erkennen, die achromatische Kernspindel mit den Chromosomen des Keimbläschens. Um die hellen Höfe herum zeigt nun auch die übrige Dottermasse eine Scheidung des klaren, körnchenfreien von dem grobkörnigen Protoplasma. Man erkennt fädige Streifen heller Substanz in dem letzteren, welche alle von den beiden hellen, runden Höfen an den Enden der Richtungsspindel ausgehen, dadurch erscheint bald jeder dieser Höfe wie eine Sonne mit einem Strahlenkranz besetzt. Von Auerbach wurden zuerst diese zwei durch ein Mittelstück miteinander verbundenen stern- oder sonnenförmigen Figuren mit Strahlen im Zellprotoplasma bei der Kernteilung beobachtet und als „karyolytische Figur" bezeichnet. Fol nannte das entsprechende Gebilde im Ei den „Doppelstern" der Richtungskörper, Amphiaster. Aus diesem Doppelstern, entsprechend den beiden oben beschriebenen Strahlensonnen der Kernteilung, entwickeln sich die Richtungskörper (Fig. 3 u. 4, S. 99). Indem sich der Doppelstern mit seinem einen Pole der Oberfläche des Dotters mehr und mehr nähert, wölbt sich der letztere über diese zuerst halbkugelig vor. Und nun wird unter lebhaften Zusammenziehungen und Bewegungen der äußeren Dotterschichten der ganze vorstehende Pol der Richtungsspindel als Richtungskörper abgetrennt. Durch die, gewöhnlich unter vorbereitender Neubildung eines zweiten Poles, sich vollziehende Wiederholung desselben Vorganges wird auch noch ein zweiter Richtungskörper ausgeschieden.

Diese klassische Darstellung des Eiverjüngungsvorganges läßt uns in diesem Prozeß auf den ersten Blick den typischen Vorgang der oben geschilderten Zellteilung erkennen.

Das Keimbläschen ist das größte tierische Kerngebilde; es liegt ursprünglich in der Mitte des Eies, resp. des Eileibes, und besitzt, wie jeder Zellkern, ein leicht färbbares chromatisches Kernnetz, eingebettet in Kern-Hyaloplasma und umgeben von einer achromatischen Kernmembran. Bei der Reifung rückt das Keimbläschen, wie das auch für die Säugetiereier konstatiert ist, allmählich aus seiner anfänglich zentralen Lage gegen die Eioberfläche hin. Der Eileib preßt durch

aktive Kontraktion etwas Flüssigkeit aus, welche sich in dem dabei, wie schon oben erwähnt, entstehenden Spaltraum zwischen Zona pellucida und Dotter, in dem perivitellinen Raume, ansammelt. Das Keimbläschen verändert sich hierauf ganz in derselben Weise, wie das für den Zellkern, der sich auf die Zellteilung vorbereitet, nachgewiesen ist. Es entsteht eine achromatische Spindel mit chromatischen Fadenschleifen, den Chromosomen, als Äquatorialplatte im Inneren, an den Spindelspitzen der Pole erscheint je ein Zentralkörperchen oder Polkörperchen, umgeben von der charakteristischen Strahlung im Plasma des Dotters. Das ist Fols Hantelfigur oder Doppelstern, Auerbachs karyolytische Figur. Um das an die Eioberfläche gerückte Zentralkörperchen sammelt sich etwas Bildungsdotter an und ragt frei wie eine kleine Knospe über die Dotteroberfläche hervor. In diese Knospe rückt die anliegende Spindelhälfte hinein, und nun wird durch Teilung der Spindel eine kleine Zelle abgeschnürt, welche, außer einem kleinen Dotteranteil, die Hälfte der Chromosomen und ein Zentralkörperchen enthält. Diese kleine Zelle ist das erste Richtungskörperchen, sie liegt im perivitellinen Raume zwischen Dotteroberfläche und Zona. Ohne Ruhepause folgt der Bildung des ersten Richtungskörperchens die eines zweiten auf dieselbe Weise. Der ganze Prozeß ist also, wie gesagt, eine wiederholte Zellteilung oder, da sich dabei nur ein sehr kleiner Teil des Gesamtzellleibes des Eies abtrennt, eine wiederholte Knospung. Aus dem im Ei zurückgebliebenen, durch die zweimalige Teilung beträchtlich verringerten Reste des Keimbläschens bildet sich ein neuer, viel kleinerer Kern als das Keimbläschen, ohne Kernkörperchen, der neue Eikern. Langsam rückt derselbe gegen den Mittelpunkt des Eies zurück, um hier oder nahe dabei zur Ruhe zu kommen. Bis dahin zeigt der Eikern sich noch von jenem System von „Protoplasmastrahlen" umgeben, welche ihm als der „einen Sonne der Richtungsspindel" zukamen. Ist er zur Ruhe gekommen, so ist auch seine Sonnenfigur, nachdem sie zuerst undeutlicher geworden war, verschwunden.

Nun ist das Ei auf den Eintritt der Befruchtung, auf die Verschmelzung, die Konjugation, mit dem männlichen Keime vorbereitet. Das Ei hat aber schon durch den geschilderten Verjüngungsvorgang allein die Fähigkeit erlangt, in den Prozeß der Furchung einzutreten. Bei vielen niederen animalen Wesen genügen, wie wir hörten, ähnliche Veränderungen des Eiprotoplasmas, um die Entwickelung des Eies ohne jegliche Mitbeteiligung eines männlichen Keimes bis zu ihrem Endziel, der Bildung des dem Muttertier schon in der ersten oder wenigstens in späteren Generationen ähnlichen komplizierten Organismus, fortschreiten zu lassen. Man bezeichnet diese Entwickelungsvorgänge des unbefruchteten weiblichen Keimes als Jungfernzeugung oder Parthenogenesis. Dem mütterlichen Organismus als solchem kommt bei der Parthenogenesis die Fähigkeit der Hervorbringung von Nachkommenschaft zu.[1]

Eigentliche Parthenogenesis hat man nur bei wirbellosen Tieren beobachtet. Es ist nun sehr beachtenswert und für die Kenntnis des allgemeinen Entwickelungsgesetzes von hoher Bedeutung, daß auch bei den mütterlichen Keimen der Wirbeltiere, und zwar auch bei den höchsten Formen derselben, bei den Säugetieren, wenigstens die ersten Stadien der Keimentwickelung, die man

---

[1] Die Entwickelung der Eier bis zu ihrem Endziel ohne Mitwirkung eines männlichen Keimes ist von Steenstrup zuerst eingehender wissenschaftlich untersucht worden. Durch das Verdienst v. Siebolds wurde die Parthenogenesis bei einer beträchtlichen Anzahl von verschiedenen Insekten nachgewiesen, unter denen diese Erscheinung bei den Bienen am meisten allgemeine Aufmerksamkeit erregt hat. Der Vorgang ist hier um so auffallender, da es sich um Tiere handelt, bei welchen männliche und weibliche Individuen vorkommen und sonst normal eine Befruchtung, eine Verschmelzung der männlichen und weiblichen Keime, vor der Eientwickelung einzutreten pflegt. In neuerer Zeit ist durch Greeff eine parthenogenetische Fortpflanzung auch bei einer Seesternart der Nordsee, Asteracanthion rubens, festgestellt worden, indem er aus unbefruchteten Eiern derselben Larven züchtete. Ihre Entwickelung zeigte keine Abweichung von der normalen, erfolgte nur etwas langsamer.

als Furchungsprozeß zusammenfaßt, ohne Mitwirkung eines männlichen Keimes ablaufen können. Dieses wunderbare Verhalten der unbefruchteten Säugetier-Eier wurde durch die nun vollkommen bestätigten Untersuchungen unseres bedeutendsten Forschers in der Entwickelungsgeschichte der Säugetiere und des Menschen, v. Bischoff, zuerst gelehrt. Aber wenn auch die ersten Stadien der Entwickelung des mütterlichen Eies ohne Beteiligung des männlichen Keimes eintreten können, so sehen wir dieselben doch in den normalen Fällen erst zu stande kommen, wenn sich weibliche und männliche Keime vereinigt haben.

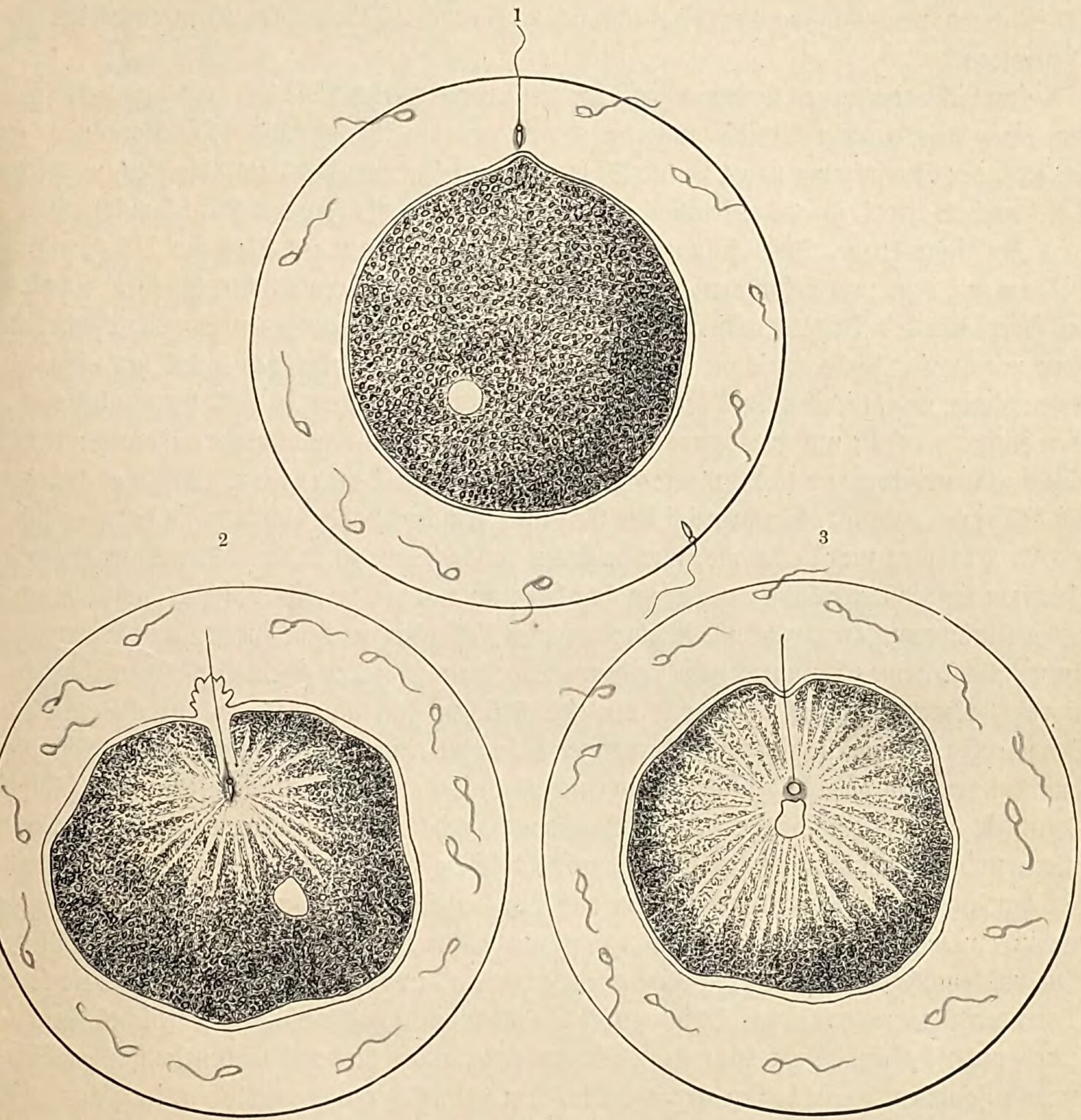
Die speziellen Vorgänge bei der Verschmelzung der männlichen und weiblichen Keime sind nach mannigfachen Richtungen vielfach verschieden; aber das scheint festzustehen, daß bei allen Befruchtungsvorgängen im Tierreich die Substanz des in das Ei eindringenden Samenkörperchens teilweise zunächst zur Bildung eines zweiten Zellkerns, des Samenkerns, Verwendung findet, wie das mit voller Sicherheit bei vielen niederen Tieren nachgewiesen erscheint. Der Samenkern verschmilzt dann mit dem weiblichen Eikern, dessen Entstehung wir eben geschildert haben, zu einem einheitlichen Kerngebilde, zu dem Furchungskern.

Um ein Bild dieses Vorganges zu erhalten, dienen sehr gut die höchst anschaulich wiedergegebenen Beobachtungen, welche O. Hertwig, Selenka u. a. an den Keimen der Seeigel gewonnen haben. Die frisch aus dem mütterlichen Körper herausgenommenen Eier wurden mit männlichen Keimen in Wasser zusammengebracht und dadurch die „künstliche Befruchtung" eingeleitet. Von den das Ei in lebhaftem Tanze umspielenden Samenkörperchen, welche ein stark lichtbrechendes Köpfchen, ein Mittelstück (Hals) und einen wellenförmig schwingenden Faden besitzen, gelingt es normal bei gesunden Eiern nur einem, in den Dotter einzudringen, und zwar demjenigen, welches zuerst dem Dotter auf eine gewisse Entfernung nahe gekommen ist. Schon ehe es die Oberfläche desselben berührt, schickt ihm das Ei einen weichen Protoplasmafortsatz entgegen (Fig. 1, S. 103), der den Kopf des Samenkörperchens umfließt, um ihn in das Innere hineinzuziehen. Und fast im gleichen Moment scheidet die Eioberfläche ringsum eine derbe Membran ab, welche allen übrigen Spermatozoen ein Eindringen unmöglich macht.

Sobald das Samenkörperchen in die helle Außenschicht des Dotterprotoplasmas gelangt ist, sammelt sich von dieser hellen Masse ein Teil um das Köpfchen an und umfaßt es büschelförmig, so daß nur noch der Faden teilweise hervorragt (Fig. 2, S. 103). Hat sich das Samenkörperchen tiefer in den Dotter eingesenkt, so verschmilzt auch diese Hervorragung des Protoplasmas wieder mit der Gesamtmasse. Dann bildet sich an der Dotteroberfläche eine ziemlich tiefe, grubenartige Einsenkung, aus deren Mitte der Faden des Samenkörperchens hervorragt (Fig. 3, S. 103). Der Faden selbst dringt nicht mit in den Dotter ein, sondern verfällt bald außerhalb dem Untergang. Bei dem Tieferdringen des Samenkörperchens schleudert dasselbe durch sein von dem schwingenden Faden bewegtes Köpfchen die Dotterkörner lebhaft durcheinander. Diese Bewegungen hören aber plötzlich auf, sobald das Samenkörperchen auf etwa ein Achtel des Eidurchmessers eingedrungen ist, und nun beginnt die Bildung des erwähnten zweiten Kernes, den man, wie gesagt, im Gegensatz zu dem in diesem Stadium meist schon fertig gebildeten weiblichen Eikern als Samenkern oder Spermakern bezeichnet.

Zunächst ordnen sich nun um das vordere Ende des Samenkörperchens die helleren und körnchenreicheren Protoplasmasubstanzen in ganz entsprechender Weise strahlenförmig, fädig, wie wir das vorhin bei der Kernteilung und der Bildung des „Doppelsternes der Richtungsspindel" kennen gelernt haben. Es entsteht eine ähnliche sonnenartige, strahlenförmige Figur, als deren Mittelpunkt ein das Vorderende des Samenkörperchens umgebender „Hof" heller, körnchenfreier Protoplasmasubstanz erscheint (Fig. 2 u. 3, S. 103). Die Strahlen wachsen an Länge und durchsetzen schließlich das ganze Ei. Sobald sie den etwas exzentrisch liegenden Eikern erreicht haben, gerät

dieser in schwache Bewegungen, welche an jene der Amöben erinnern. Nun wandern beide Gebilde, der Eikern und der Samenkern, aufeinander los und treffen schließlich im Mittelpunkt des Eies aufeinander (Fig. 3). Hier vollzieht sich unter lebhaften Gestaltsveränderungen eine direkte Verschmelzung des Eikernes mit dem Samenkern. Der Eikern treibt dabei fingerförmige Aus-



Befruchtung eines Seeigel-Eies (Toxopneustes variegatus). Stark vergrößert.

1) Reifes Ei mit Eikern nach Ausstoßung der Richtungskörperchen, ein Samenkörperchen ist im Begriff einzudringen; 2) dasselbe im Befruchtungsakt: um den Kopf des Samenkörperchens hat sich ein Strahlensystem gebildet, der Eikern verändert seine Gestalt; 3) dasselbe, der Befruchtungsprozeß schreitet fort: der Sperma- oder Samenkern hat sich gebildet und nähert sich dem Eikern, um mit diesem zu verschmelzen.

läufer gegen den Samenkern hin, welche sich an diesen anlegen, und nachdem er den Samenkern zuerst in einer napfartigen Ausbuchtung aufgenommen hat, sehen wir beide Kerne schließlich zum Furchungskern miteinander verschmelzen.

Selenka bestimmte, daß bei diesem Vorgang das Samenkörperchen zu dem Eindringen in den Dotter 5 Minuten bedarf. Nach weiteren 5 Minuten ist es im Mittelpunkt des Eies angelangt, das Dotterprotoplasma ist überall in Bewegung. 2 Minuten später gelangt der Eikern durch amöbenartige Bewegungen zu dem mit einem hellen Strahlenhof umgebenen Köpfchen des

Samenkörperchens. Nach weiteren 8 Minuten war die Verschmelzung des Eikerns mit dem Samenkern zum Furchungskern eingetreten. 5 Minuten später tritt der Furchungskern für 15 Minuten in ein Ruhestadium ein, ohne weitere Bewegungen erkennen zu lassen. Danach beginnt er sich zu strecken und zu teilen. 63 Minuten nach dem Eintritt der ersten Berührung der männlichen und weiblichen Keime sind die beiden ersten Furchungskugeln getrennt, nach 76 Minuten vom Anfang der Beobachtung beginnt die Teilung der Furchungskerne zweiter Generation.

Im Lichte der neuen Erfahrungen über die inneren Verhältnisse der Zellteilung eröffnen sich nun auch diese dunkeln Prozesse unserem eindringenderen Verständnis. Die Vorgänge, welche sich nach der Vereinigung von Ei- und Samenzelle im Inneren des Eies abspielen, macht unsere Tafel nach Boveri in den wesentlichsten Momenten durch die Figuren 9—14 anschaulich.

In Figur 10 der Tafel finden wir nahe dem Mittelpunkt des Eies den bläschenförmigen Eikern mit dem uns bekannten, an ihm rot dargestellten, chromatischen Gerüst. Dicht unter der Oberfläche des Dotters treffen wir auf den Kopf des eingedrungenen Spermatozoon, dessen Kern mit blauer Farbe gezeichnet ist. Der Schwanzfaden, der nur den Zweck hat, den für die Befruchtung wesentlichsten Teil des Spermatozoon, den Kopf, an das Ei heranzubringen, hat seine Aufgabe erfüllt und ist abgeworfen. Sehr auffällig ist die anfängliche außerordentliche Verschiedenheit zwischen dem Eikern und dem neueingeführten Samenkern. Allein es besteht, wie sich Boveri ausdrückt, kein prinzipieller Gegensatz zwischen beiden, sondern sie befinden sich, wie das O. Hertwig zuerst erkannte, nur in einem verschiedenen Zustande. Der Samenkern ist ein gleichsam kondensierter Kern, er besteht fast lediglich aus den zu einem dichten, scheinbar homogenen Klumpen zusammengeballten Chromosomen, offenbar zu dem Zweck, dem Spermatozoon ein möglichst kleines Volumen zu verleihen. Sehr bald schon, nachdem der Spermakern in das Eiprotoplasma gelangt ist, geht er in den gewöhnlichen Zustand eines „ruhenden Kernes" über. Der scheinbar homogene Chromatinkörper zerfällt in die einzelnen Chromosomen, welche ihn zusammensetzen, um diese bildet sich, wie in einer durch Teilung neugebildeten Zelle, eine Hüllschicht, es entsteht dadurch ein Bläschen, in welchem man bald das bekannte chromatische Netzwerk erkennt. Eikern und Spermakern werden sich dadurch endlich vollkommen gleich (Fig. 11). Nun tritt die Verschmelzung der beiden Kerne ein und auf diese sogleich die Vorbereitung zur Teilung, genau wie in einer Zelle, welche von Anfang an nur einen Kern besitzt. In anderen Fällen tritt keine vollkommene Verschmelzung der beiden Kerne ein, und man kann, was besonders lehrreich ist, bei den Vorbereitungen zur Teilung noch den männlichen und weiblichen Anteil des Furchungskernes unterscheiden. In beiden zieht sich das chromatische Netzwerk zu den kompakten Chromosomen zusammen, die in beiden Kernanteilen, dem männlichen und weiblichen, in gleicher Anzahl zum Vorschein kommen (Fig. 12), und wie zuerst die ganzen Kerne, so sind jetzt diese männlichen und weiblichen Chromosomen in Größe, Form und Färbbarkeit vollkommen identisch. Die verschiedenen Farben in den Figuren unserer Tafel sollen lediglich die verschiedene Abkunft der Chromosomen, die blauen vom Vater, die roten von der Mutter, ausdrücken. Der Zerfall des Eies in die ersten beiden Furchungskugeln geht nun ganz nach dem oben geschilderten Gesetz der Zellteilung vor sich. Der Furchungskern löst seine Hülle auf, jedes väterliche und jedes mütterliche Chromosoma spaltet sich der Länge nach in zwei Hälften und, indem gleichzeitig der uns bekannte, aus den beiden Strahlensonnen zusammengesetzte Teilungsapparat sich ausbildet (Fig. 13), wird von jedem Chromosoma die eine Hälfte in diese, die andere in jene Tochterzelle übergeführt. So besitzt also jede der beiden ersten Furchungskugeln zur einen Hälfte väterliche, zur anderen Hälfte mütterliche Kernsubstanz und wir dürfen nach den oben geschilderten allgemeinen Erfahrungen über Zellteilung mit Bestimmtheit annehmen, daß dieses Verhältnis

auf alle Zellen, die aus der Furchung hervorgehen, und von diesen auf alle Zellen des ausgebildeten Organismus übertragen, vererbt wird. Aber nicht nur neue Chromosomen und Kernsubstanz führt die Samenzelle dem Ei bei der Befruchtung zu, auch einen besonders wesentlichen Anteil eines Zellleibes, ein Zentralkörperchen, und damit erneute Teilungsenergie. In dem unbefruchteten Ei ist zwar, wie aus der obigen Darstellung der Bildung der Richtungskörperchen sich ohne weiteres ergibt, noch ein Zentralkörperchen enthalten, aber es ist, abgesehen von jenen Fällen einer Parthenogenesis, zu schwach, die Teilungsvorgänge mit genügender Energie einzuleiten. Dafür tritt nun das Samenkörperchen ein. Der Kopf der Samenzelle enthält nicht nur den kondensierten Kern, sondern auch Plasma des Zellleibes, und namentlich eins jener kleinen Körperchen, welches sich durch seine Fähigkeit, das Eiprotoplasma in radialen Fädchen um sich zu gruppieren (Fig. 10 u. 11), alsbald als eins jener wichtigen Teilungszentren zu erkennen gibt. Und während sich nun der aus der Verschmelzung von Ei- und Samenkern entstandene Furchungskern zur Teilung vorbereitet, teilt sich auch dieses Zentralkörperchen, um, wie bei jeder Zellteilung, die Mittelpunkte für die beiden Tochterzellen, die beiden ersten Furchungskugeln, zu liefern. Es erbt sich so auf die Tochterzellen, und so von einer Zellengeneration immer auf die nächste fort und verleiht jeder neuen Zelle wieder die Fähigkeit zu abermaliger Teilung.

Gestützt auf diese hier unserer Aufgabe entsprechend teilweise nur angedeutete Reihe neugewonnener Erkenntnisse und Thatsachen faßte O. Hertwig den gegenwärtigen Stand der Forschung in seiner Theorie der Befruchtung zusammen:

„Bei der Befruchtung finden deutlich nachweisbare morphologische Vorgänge statt. Bei diesen ist das wichtigste und wesentlichste die Vereinigung zweier geschlechtlich differenzierter Zellkerne, eines weiblichen Ei- und eines männlichen Samenkernes. Diese enthalten die befruchtende Kernsubstanz, welche ein organisierter Körper ist und als solcher bei der Befruchtung zur Wirkung kommt.“

Neuerdings hat O. Hertwig auch den Versuch gemacht, die Befruchtungstheorie zu einer Vererbungstheorie zu erweitern, indem er in der befruchtenden Substanz zugleich auch die Trägerin der vererbenden Eigenschaften erblickt: Die weibliche Kernsubstanz überträgt die Eigenschaften der Mutter, die männliche Kernsubstanz die Eigenschaften des Vaters auf das neuentstehende Geschöpf. „Vielleicht“, sagt er, „ist in dieser Theorie eine morphologische Grundlage für die Thatsache gewonnen, daß die Kinder beiden Erzeugern gleichen und von beiden im allgemeinen gleichviel Eigenschaften erben.“ Der Kern scheint das eigentliche Befruchtungs- und Vererbungsorgan der Zelle zu sein. O. Hertwig weist dabei noch auf das Vererbungsplasma oder Idioplasma Nägelis hin, welches in jeder Zelle vorhanden sein müsse. Boveri hat das weiter ausgeführt. Die Eigenschaften, welche der Vater auf das Kind überträgt, müssen im Spermatozoid enthalten sein, und zwar begründet in dessen Molekularstruktur. Sie können, wie Nägeli nachgewiesen habe, unmöglich durch einen chemischen Vorgang übertragen werden, sondern nur das geformte Plasma mit seiner unverrückbaren Molekularanordnung könne eine so ganz bestimmte Kombination von Kräften bedingen, wie sie der Vererbung und Entfaltung der kleinsten individuellen Merkmale entsprechen: das Ganze oder ein Teil von dem festgefügten Plasma der Samenzelle muß „ein vollständiges, gleichsam in die Sprache der Moleküle übersetztes Abbild von dem ganzen Wesen des Vaters“, soweit dieses auf das Kind übergehen soll, enthalten. In der dem Spermatozoid gegenüber so gewaltigen Masse des Eies ist es der Eikern, welcher als Träger des Vererbungsplasmas erscheint, die Gleichheit des Einflusses bezüglich der Vererbung von Vater- und Mutterseite spricht sich in

der oben geschilderten, wie es scheint, vollkommenen Gleichheit der in der Befruchtung verschmelzenden Kerne, des Ei- und des Samenkernes, aus. Dadurch erklären sich namentlich die Erscheinungen der Kernteilung. Sind die Chromosomen von Ei- und Samenzelle wirklich, wie wir jetzt wohl kaum umhin können anzunehmen, die Träger der elterlichen Qualitäten, dann müssen sie auch in der gleichen Kombination, wie sie im Ei vorhanden sind, auf alle Zellen des Körpers übergehen. Jetzt verstehen wir die Sorgfalt, mit der bei der Zellteilung jedes Chromosoma der Länge nach halbiert und in seinen Hälften auf beide Tochterzellen übertragen wird; nur dadurch kann es die Natur erreichen, daß an allen Stellen des Körpers die gleiche Mischung väterlicher und mütterlicher Eigenschaften zur Entfaltung kommt.

So weit scheint alles stichhaltig. Wir dürfen aber doch dabei nicht vergessen, daß Nägelis Theorie eine rein spekulativ gefundene ist, und daß „das in die Sprache der Moleküle übersetzte Abbild von Vater und Mutter" Nägelis im wesentlichen die vorliegenden Rätsel in derselben Weise spekulativ zu lösen versucht, wie es jene alten Naturforscher und Philosophen durch ihre vielverspottete Theorie der Präexistenz oder Evolution gethan haben (s. oben, S. 91), eine Theorie, nach welcher der kindliche Organismus schon in fertiger Gestalt im Ei oder im Samen vorhanden sei und nur zu wachsen brauche. Sie führte als letzte Konsequenz zu der Vorstellung, daß alle im Laufe der Jahrtausende sich ablösenden Generationen einer Art und alle noch zukünftig zu erwartenden schon in dem erstentstandenen Individuum ineinander eingeschachtelt enthalten sein müßten. Nägelis Theorie ist, wie man jene zu bezeichnen pflegte, „ein Triumph des Verstandes über die Sinne", bei Licht betrachtet, ist sie eben, wie jene alte Theorie, auch nichts weiter als eine Umschreibung, eine Paraphrasierung des alten Rätsels, welches dasselbe zu lösen vorgibt, indem sie diese Lösung in die ewige Vergangenheit und in die unendliche Kleinheit zurückschiebt, wo alle unsere Begriffe aufhören. Das Wesentliche der Theorie hat längst Virchow ausgesprochen: omnis cellula e cellula (s. oben, S. 74).

*

Diese Betrachtungen über den Vorgang der Eiverjüngung und Befruchtung haben uns einen höchst überraschenden Einblick verschafft in eine eigne Welt minimalen Lebens und Schaffens, von der die letztvergangenen Jahrzehnte noch keine Ahnung besaßen. Wir lernten in dem einer früheren Forschungsperiode chaotisch erscheinenden Stoffe des Eiprotoplasmas die Wirkung von Bewegungsursachen kennen, durch welche uns eine sehr bedeutsame innere, freilich erst teilweise erkannte Struktur desselben bewiesen wird. Die letztere ist für uns bis jetzt noch um so unverständlicher, als wir durch sie Bildungen geformt sehen, die zum Teil nach kürzerem oder längerem Bestehen wieder zu verschwinden scheinen, um neuen Gestaltungen Platz zu machen. Welche mechanischen Bewegungsursachen dem Gestaltungsprozeß im Eiprotoplasma vorstehen, können wir bis jetzt mit voller Bestimmtheit nicht angeben. Doch dürfen wir darauf hindeuten, daß keine Lebensaktion im höher entwickelten Organ der Pflanze und des Tieres ohne Beteiligung elektrischer Vorgänge zu stande kommt; daß auch in dem Ei und Samenkörperchen elektrische Wirkungen sich geltend machen mögen, wurde uns aus dem Spiele der Anziehung und Abstoßung der kleinen männlichen Keime und des Eies als Anfang der Befruchtung wahrscheinlich. Auch die um ein Zentrum gelagerten strahlenförmigen, fädigen Anordnungen der differenten Plasmaportionen erinnern nicht undeutlich an gewisse durch Elektrizität und Magnetismus bewirkte Richtungen kleiner Körperchen. Wie dem aber auch sein mag, so viel ist unverkennbar, daß die geschilderten Vorgänge der Kernverschmelzung nicht nur im befruchteten Ei, sondern auch in dem neuen weiblichen Eikern ein in sich bis zu einem gewissen Grade abgeschlossenes animales Wesen erkennen lassen. selbst von dem physiologischen Werte eines einfachsten

Elementarorganismus. Auf diese Weise erscheint uns das Ei und damit jede Zelle, die einen Kern besitzt, als ein elementarer **Doppelorganismus**. In dem einen geschlossenen, für sich existierenden individuellen Elementarorganismus des Eies und der kernhaltigen Zelle findet sich als Eikern, Keimbläschen oder Zellkern ein zweiter kleinerer Elementarorganismus eingeschlossen, der unter Umständen sein selbständiges Leben in deutlichen Äußerungen zu dokumentieren vermag, aber niemals deutlicher als in dem eben beschriebenen Vorgang der Verschmelzung der beiden Kernbildungen zu dem Furchungskern des Eies. Und wie, nach R. **Virchow**, jede Zelle eine Zelle, so setzt, nach den Gebrüdern **Hertwig**, jeder Zellkern für seine Neubildung einen Zellkern voraus: omnis cellula e cellula, omnis nucleus e nucleo.

Durch diesen Nachweis einer inneren komplizierten Struktur des Protoplasmas, welche R. **Greeff** speziell auch für den Protoplasmaleib der **Amöben** festgestellt hat, ist das früher auch von der exakten Naturforschung anerkannte **Protoplasmatheorem der modernen Naturphilosophie**, welche dem Chaos ihres Protoplasma-Urschleimes eine schöpferische Gestaltungskraft für die Bildung animaler Formen zuschreibt, definitiv widerlegt und damit der ganzen modernen Schöpfungstheorie der Lebewesen der Boden, auf dem sie sich aufbaut, entrückt.

*

Bei allen Eiern wirbelloser Tiere, welche man bisher darauf untersucht hat, haben sich ganz ähnliche Verhältnisse der Eiverjüngung und der Bildung des Furchungskernes aus der Verschmelzung der zwei Kerngebilde, welche auch als „**männlicher und weiblicher Vorkern**" bezeichnet zu werden pflegen, ergeben. Aber auch für Wirbeltiere und speziell Säugetiere ist ein ähnlicher Vorgang in hohem Maße wahrscheinlich, wenn nicht schon festgestellt. Beim Frosch sind beide Vorkerne nachgewiesen worden. Auch die Angaben über die Bildung der Richtungskörperchen bei Forellen-Eiern sowie über das Verhalten des Keimbläschens bei den Eiern des Kaninchens und anderer Säugetiere deuten entschieden nach dieser Richtung. Wir dürfen mit Bestimmtheit hoffen, daß diese Verhältnisse auch für die höchsten Formen des Tierreichs in naher Zukunft besser erkannt sein werden. Aber das kann schon jetzt vorausgesagt werden, daß die entsprechenden Vorgänge bei verschiedenen animalen Wesen zwar einen einheitlichen, gesetzmäßigen Gang erkennen lassen werden, daß aber keineswegs als schließliches Resultat der Beobachtung eine vollkommene Gleichheit des Verlaufes sich ergeben wird. Schon soweit die Untersuchungen bis jetzt geführt worden sind, lassen sie mehr oder weniger tief greifende Einzelverschiedenheiten nach dieser Richtung erkennen; auch hier fügt sich die Natur nicht einem gleichmäßigen Schematismus. Bisher hat man namentlich Unterschiede in dem zeitlichen Verlauf der geschilderten Vorgänge erkannt. Am frühesten löst sich und verschwindet im allgemeinen der Keimfleck, er kann schon vor beendeter Reife des Eies fehlen oder erst mit Eintritt der Reife oder auch noch später verschwinden. Daß der Eiverjüngungsprozeß bei manchen Tieren schon vor, bei anderen erst nach der Lostrennung der Eier aus dem mütterlichen Organismus erfolgt, hat schon Erwähnung gefunden. Die Anlage der „Richtungsspindel" geht, soweit bis jetzt erforscht, überall der Ausstoßung der Richtungskörperchen voraus; doch kann die erstere schon lange vor Bildung der letzteren bestehen. An den Eiern einer Muschel hat man die Richtungsspindel vor der Befruchtung nicht nur angelegt, sondern auch schon an die Oberfläche des Dotters gerückt gefunden; aber die Abscheidung der Richtungskörper erfolgte doch erst nach dem Zutritt des Samenkörperchens. Ja, es kann der männliche Vorkern, der Samenkern, schon fertig gebildet erscheinen, ehe sich durch Abgabe der Richtungskörperchen der weibliche Vorkern, der Eikern, entwickelt hat. Die Verschmelzung der beiden Vorkerne ist bald eine vollkommene, bald eine unvollkommene.

Der Furchungsprozeß des Säugetier-Eies.

Es gibt kein schöneres, man möchte sagen eleganteres Objekt zum Studium der Vermehrung der Zellen durch Teilung als das Säugetier-Ei (s. Tafel „Furchungsprozeß des Kaninchen-Eies“). Auch bei der Furchung ergeben sich zwar wesentliche Differenzen im Verlauf und Resultat des gesamten Vorganges, aber eine allgemeine Gesetzmäßigkeit spricht sich auch hier unverkennbar aus. Die einfachste Erscheinung des Vorganges zeigt sich so, daß die gesamte, durch Verjüngung allein oder durch diese in Verbindung mit Verschmelzung der männlichen mit der weiblichen Keimsubstanz zur Vermehrung vorbereitete Protoplasmamasse in zwei ziemlich gleich große Teilstücke zerfällt. Der Furchungskern spielt dabei eine Hauptrolle. Der Vorgang ist dem oben geschilderten der Zellteilung vollkommen entsprechend.

Bei den Säugetieren ist die Eifurchung, wie der eben besprochene Vorgang, eine totale, d. h. das gesamte Dotterprotoplasma wird, abgesehen von den Richtungskörperchen, zur Erzeugung der ersten beiden Furchungszellen und der auf diese folgenden Zellengenerationen verbraucht.

Eier, welche außer dem Bildungsdotter noch einen Nahrungsdotter oder Nebendotter besitzen, zeigen den Furchungsprozeß gewöhnlich nur an dem ersteren. Im Gegensatz zur totalen Furchung wird diese letzterwähnte Erscheinung als partielle Furchung beschrieben. Wir wollen hier nur auf diese auffallende Verschiedenheit hinweisen, ohne in eine nähere Darlegung der interessanten Einzelverhältnisse eintreten zu können.

Für unsere Betrachtung genügt es, festgestellt zu haben, daß sich auch hier die Natur volle Freiheit in der Hervorbringung ihrer Einzelbildungen gewahrt hat. Die Wissenschaft versucht es, lallend die Worte des Bildungsgesetzes der Natur nachzusprechen; aber noch ist sie nicht tief genug in den Geist dieser Sprache eingedrungen, um den rhythmischen Gang der Verse dieses Hymnus der natürlichen Schöpfung nur annähernd auffassen zu können.

*

Werfen wir einen Blick rückwärts auf unsere bisherigen Erfahrungen, soweit wir dieselben auf den Menschen beziehen dürfen.

Wir sahen die erste Anlage des menschlichen Körpers in denkbar einfachster Form. Das menschliche Ei ist eine kaum mit freiem Auge sichtbare kugelige Protoplasmamasse mit großem Kern und deutlichem Kernkörperchen, geschützt von einer relativ dicken, durchsichtigen Hülle. Durch Verschmelzung mit dem außerordentlich viel kleineren männlichen Keim, einem nackten Protoplasmakörperchen mit schwingendem Fadenansatz, erhält der mütterliche Keim die Fähigkeit zur Entwickelung bis zur vollen Ähnlichkeit mit den elterlichen Organismen. Die ersten Stadien dieses Ausbildungsprozesses kennzeichnen sich als eine fortschreitende Teilung des Eiprotoplasmas in kleiner und kleiner werdende, im übrigen aber dem Ei selbst ähnlich bleibende, anfänglich nackte, hüllenlose Zellen. Das sind die Bausteine, aus denen die Natur ihr höchstes wie ihr niedrigstes animales Gebilde aufbaut.

Einzelleben der Gewebszellen und Umbildung der Zellformen.

Aus dem Furchungsprozeß des Eiprotoplasmas sehen wir eine große Anzahl neuer Elementarorganismen, die wir als Furchungszellen bezeichneten, hervorgehen. Diese bilden, wie wir sagten, zum Teile die Bausteine, aus welchen sich der Körper der sich mehr und mehr ausbildenden Frucht gestaltet. Anfänglich erscheinen alle die neuen, in der Furchung entstandenen Zellen, welche

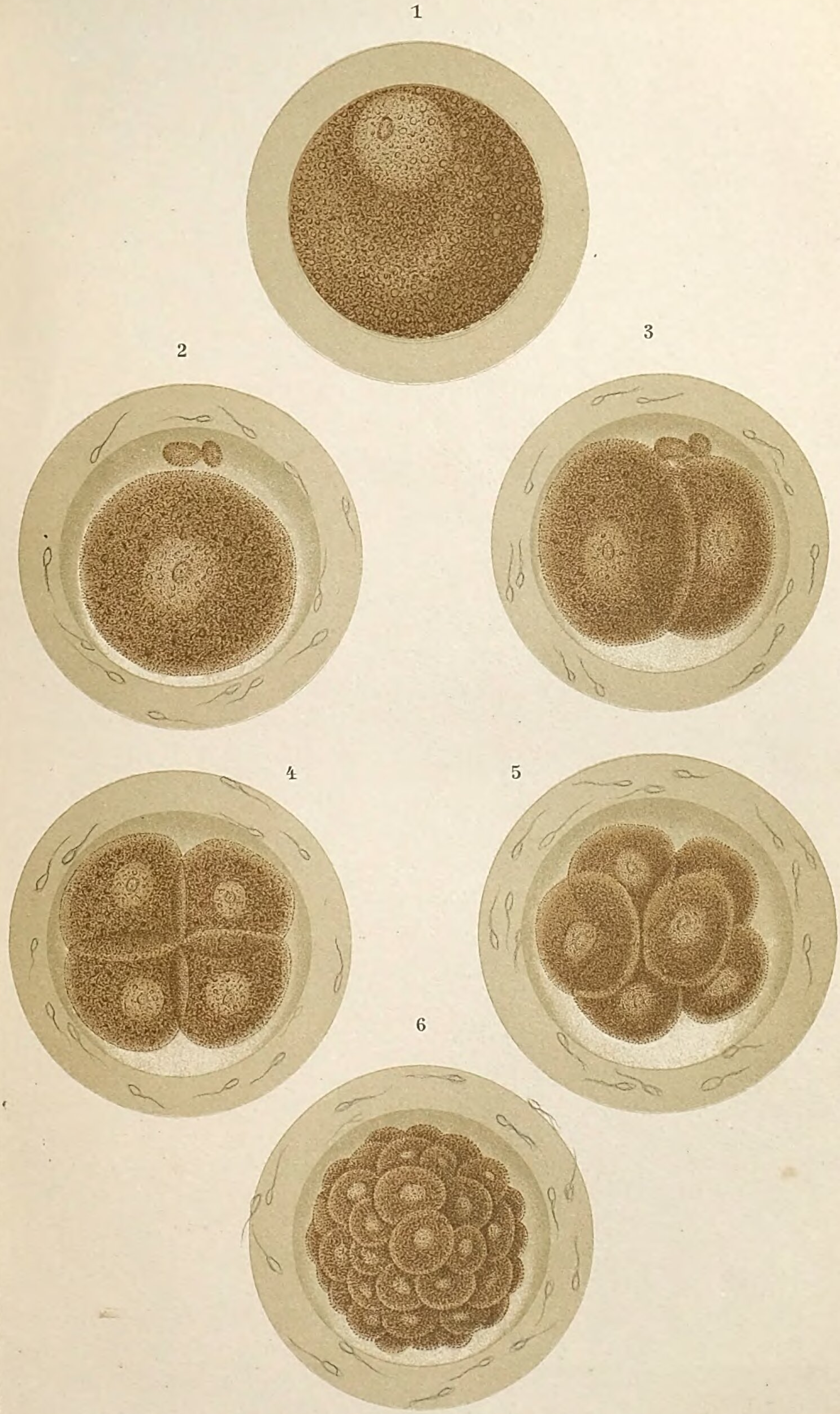
Furchungsprozess des Kaninchen-Eies.

(Das Ei ohne Eiweissschicht dargestellt.)

1. Reifes, unbefruchtetes Kaninchen-Ei.
2. Dasselbe befruchtet, die Dottermasse hat sich etwas kontrahiert; die Richtungskörperchen sind ausgestossen, der Furchungskern gebildet.
3. Erste Generation der Furchungs-Zellen = 2.
4. Zweite Generation = 4.
5. Dritte Generation = 8.
6. Maulbeer-Dotter.

In 2 und 3 sieht man die Richtungskörperchen. Die durchsichtige Zone ist in allen Figuren (2—6) mit Samenkörperchen besetzt.

Die „Eiweissschicht“, welche die Eier umhüllt, ist in den Abbildungen weggelassen.



FURCHUNGSPROZESS DES KANINCHEN-EIES.

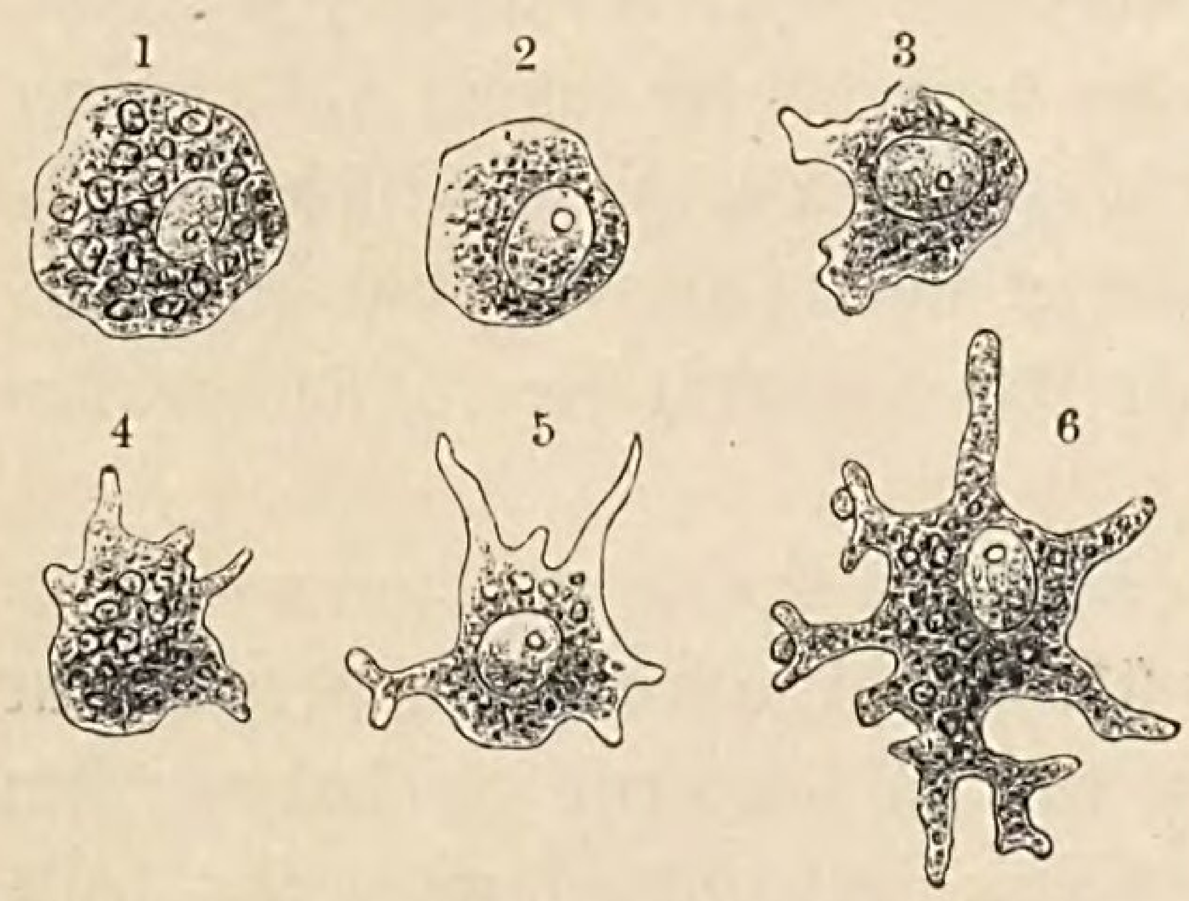
jene maulbeerförmige Zellenanhäufung als Anlage der künftigen Frucht bilden, dem ungefurchten Ei noch in hohem Maße ähnlich, nur die Masse jeder Einzelzelle ist eine bei weitem kleinere als bei jenem. Auch bei ihnen bildet, wie bei dem Ei, ein kugeliges Protoplasmaklümpchen, welches im Inneren einen Kern enthält, das Wesentliche des kleinen Organismus. Bald sehen wir die anfänglich nackten Furchungszellen sich mit einer zarten hautartigen Hülle, einer Zellhaut, Zellmembran, umgeben. Und nun manifestieren die einzelnen Zellen immer entschiedener ein in verschiedenartigen Thätigkeiten sich aussprechendes individuelles Leben. Es treten Umbildungen in ihrer Gestalt und in der inneren Anordnung ihres Protoplasmas ein, welche später bei vielen Zellen und Zellenabkömmlingen die Ähnlichkeit mit der Eizelle in hohem Maße verwischen können.

Neuere Beobachtungen scheinen darauf hinzudeuten, daß schon bei dem ersten Erfolg der totalen Furchung nicht zwei vollkommen gleiche Teilprodukte des Eiprotoplasmas entstehen. Die eine der beiden ersten Furchungszellen soll etwas größer sein als die andere, so daß sich schon in der ersten, von dem ungeteilten Ei abstammenden Zellengeneration jene Formdifferenz bemerklich machen würde, welche bei den folgenden Generationen immer entschiedener hervortritt. Dadurch würde das in anatomischer wie physiologischer Beziehung verschiedenartige Verhalten der aus der Furchung hervorgehenden Zellen schon in das allererste Entwickelungsstadium verlegt und die bisher angenommene schematische Gleichartigkeit der Furchungszellen unhaltbar.

Boveri hat gezeigt, daß bei den Eiern von Ascaris megalocephala vom Beginn der Entwickelung an ein Gegensatz einer einzigen Zelle zu allen übrigen hervortritt. Die Kernstruktur des Eies erbt sich gleichsam wie ein Recht der Erstgeburt nur auf die eine der beiden ersten Furchungskugeln, auf die eine Tochterzelle, und von dieser wieder nur auf die eine 2c. fort, während die Kerne aller übrigen einen wesentlich verschiedenen, reduzierten Charakter annehmen. Aus diesen letzteren baut sich der Körper des neuen Organismus auf, aus jener einen Generationsreihe von Zellen, deren Glieder ihrem Kerne nach immer Geschlechtszellen bleiben, leiten sich die Eier oder die Spermatozoen ab. Solche Unterschiede der Furchungszellen scheinen aber nach Driesch und E. B. Wilson bei anderen Tieren erst nach der dritten Generation der Furchungszellen aufzutreten; von den zwei Zellen der zweiten und den vier Zellen der dritten Generation scheint noch jede einzelne die Gesamtidee des Organismus zu repräsentieren. Der erstere zeigte nämlich durch die von den Brüdern Hertwig eingeführte Methode des Zerschüttelns der Eier, daß aus Teilstücken der Furchungsstadien von Echinodermen-Eiern wieder vollständige Embryonen erzeugt werden können, die sich nur durch die geringere Größe von den normal entwickelten unterscheiden; Wilson fand, daß bei den Eiern des Amphioxus ganz wie bei den Seeigeleiern, mit denen Driesch experimentierte, die vollständige Isolierung der beiden Furchungskugeln des zweizelligen Furchungsstadiums zur Entwickelung zweier vollständiger Embryonen führte, die sich von normalen Embryonen einzig dadurch unterschieden, daß sie nur halb so groß waren wie diese, wobei die Furchung ganz normal verlief. Eine unvollständige Trennung der beiden Furchungskugeln führte zur Entstehung von Doppelmißbildungen, welche je nach dem Umfang des geschehenen Eingriffes die beiden Körper zu größerer oder geringerer Selbständigkeit entwickeln. Die Experimente mit dem vierzelligen Furchungsstadium ergaben ganz entsprechende Resultate; bei vollständiger Trennung der Furchungskugeln entstehen Embryonen von Viertelsgröße der gewöhnlichen Stadien, bei teilweiser Trennung entstehen wieder Mehrfachkeime: Dreifach- und Vierfach-Embryonen. In allen Fällen waren aber die nach der Trennung des vierzelligen Stadiums entstehenden Embryonen nur fähig, sich bis zum Auftreten der Segmentierung zu entwickeln, später starben sie ab. Die Furchungskugeln des achtzelligen Furchungsstadiums

sind dagegen bei vollkommener Isolierung unfähig, einen Embryo (Gastrula) hervorzubringen, obwohl sie sich ebenfalls zu furchen beginnen. Es scheint daher, daß infolge der im Achterstadium bereits eingetretenen zu großen Differenzierung die Ergänzung des ganzen Embryos aus einer der acht Furchungskugeln nicht mehr möglich ist. Doch ist hier noch so manches dunkel. Nach Driesch stimmt die Entwickelung der isolierten Furchungskugel des Zweierstadiums nur mit der Hälfte des normalen Embryos überein, später entstehe erst ein vollständiger Embryo, durch einen Prozeß, den er als „Regeneration“ bezeichnete.

Einige der auch den höchsten fertigen Gesamtorganismus zusammensetzenden Zellformen schließen sich äußerlich immer noch außerordentlich nahe an den Urtypus des animalen Elementarorganismus, an die nackte Eizelle, und an den nackten Körper der Rhizopoden, der Wurzelfüßer, an. Es sind das vor allen die zahllosen kleinen lebenden Zellengebilde, welche in den Flüssigkeiten des höheren und höchsten animalen Organismus als Lymphzellen oder weiße, farblose Blutzellen ein in hohem Maße individuelles, freies Leben führen. Sie sind kleine Protoplasmaklümpchen mit Kern, aber ohne hautartige Hülle. Sie besitzen in hohem Grade die Fähigkeit der aus inneren Ursachen eingeleiteten Formveränderung im Sinne der Bewegungen der Amöben (s. nebenstehende Abbildung, Fig. 1—6). Es gelang sogar, nachzuweisen, daß sie in ähnlicher Weise wie die letztere auch Nahrungskörnchen in sich aufnehmen können. Im Ruhezustand und im Tode besitzen sie kugelige Form, bei Bewegung ändern sie ihre Gestalt, sie werden oval und lassen, wie die einfachsten nackten Wurzelfüßer, ihren Protoplasmaleib in zahlreiche verschiedenartige Scheinfüße gleichsam ausströmen. Höchst verwunderlich ist die Entdeckung, daß diese kleinen, in so hohem Grade frei in den Körperflüssigkeiten lebenden Elementarorganismen unseres Körpers, die trotz ihrer Sonderexistenz doch wesentlich zu dessen Aufbau und physiologischen Gesamtthätigkeiten beitragen, aus den Gefäßen und der in diesen enthaltenen Flüssigkeit aktiv auszuwandern und in den feinen Lücken der Körpergewebe als Wanderzellen weithin Ortsveränderungen vorzunehmen vermögen. Wir werden durch diese Erfahrungen in ein minimales Geschehen in unserem Körper eingeführt, welches in mancher Beziehung geeignet erscheint zur Erklärung namentlich von einem Krankheitsherde ausgehender und sich verbreitender krankhafter Prozesse. Die Wanderzellen, deren Aufnahmefähigkeit für Stoffpartikelchen wir eben erwähnten, können wohl dadurch Träger von Materien werden, welche, von einem Erkrankungsherde in andere Körperlokalitäten verschleppt, dort ihre speziellen Wirkungen entfalten. Auch insofern erscheinen die Wanderzellen noch mit der Eizelle näher verwandt, als sie eine unverkennbare Fähigkeit der Organisation und Umwandlung besitzen. Als Ausgangspunkte von Organisationen bei krankhaften Prozessen hat man mehrfach diese kleinen Lebensherde erkannt.



Weiße Blutzellen: 1) und 2) ruhend, 3—6) in Bewegung. Stark vergrößert.

Aber auch andere Zellformen, sogar solche, welche in geschlossener Verbindung mit anderen ohne Möglichkeit des weiteren Ortswechsels sich befinden, wie die (fixen) Zellen in der Hornhaut des Auges und in den häutigen Gebilden, welche als Bindegewebe neben Knochen, Sehnen und Knorpeln den Zusammenhalt der mit höheren Aufgaben ausgestatteten Gewebs- und Organgruppen unseres Körpers besorgen, besitzen die Fähigkeit zu lebhaften amöbenähnlichen Formumwandlungen. Überhaupt zeigt sich das Protoplasma fast aller Zellen, am entschiedensten aber der hüllenlosen, ebenso „reizbar“ wie das der Amöben. Unter dem Einfluß elektrischer

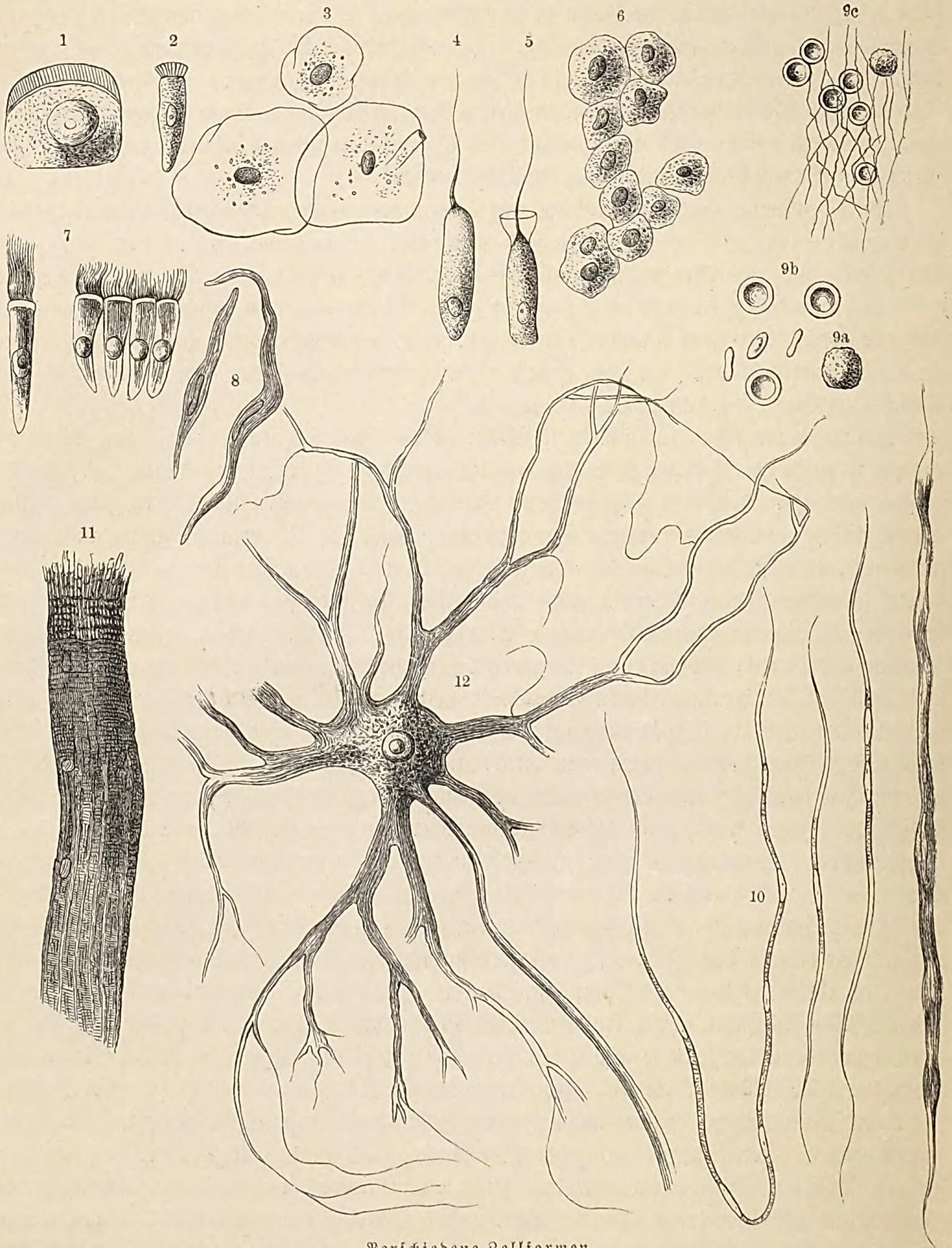
Reize sehen wir die Zellen ihre Form in ähnlicher Weise wie jene umwandeln, und ganz entsprechend wirken auch chemische, mechanische, namentlich Wärmereize. Der einleitend ausgesprochene Satz, daß den Myriaden von Zellen, welche den erwachsenen Organismus des Menschen und der anderen höheren animalen Wesen zusammensetzen, trotz der Unterordnung im Dienste des Gesamtorganismus ein gewisser Grad von individuellem Sonderleben gewahrt geblieben sei, bewahrheitet sich, wohin wir auf diesem Gebiet unseren Blick wenden.

Unter den mannigfaltigen Verschiedenheiten der untereinander verbundenen Gewebszellen des erwachsenen Körpers des Menschen fällt zuerst ihre Verschiedenheit in der Größe auf. Der Durchmesser des reifen menschlichen Eies beträgt 0,18—0,20 mm. Die Nervenzellen der nervösen Zentralorgane des Menschen erreichen eine Größe von 0,04 bis sogar 0,08 mm, bei einigen niederen Wirbeltieren kommen Nervenzellen vor, deren Protoplasmamasse der des Säugetier-Eies wenig nachsteht. Dagegen mißt der Durchmesser vieler Zellen, wie z. B. derjenige der menschlichen Blutzellen, nur 0,004—0,008 mm.

Im Körper der höheren animalen Wesen ist die überwiegende Mehrzahl der Zellen mit anderen in mehr oder weniger fester Verbindung, nach dem Ausdruck der Wissenschaft, zu Geweben vereinigt. In diesem Falle verlieren meist die Zellen ihre ursprüngliche rundliche Gestalt und gewinnen mannigfach verschiedene Formen. Auch das Protoplasma nimmt in den verschiedensten Umgestaltungen an dem Formwechsel Anteil. Neben den typischen, in der Ruhe kugelig gestalteten Zellen zeigen sich ovale, cylindrische, kegelförmige, stark in die Länge gestreckte mit fein zugespitzten Enden (s. Abbildung, S. 112, Fig. 1—10). Andere Zellen erscheinen bei Pflanzen wie Tieren gleichsam durch einen von den Nachbarzellen ausgeübten ebenmäßigen Druck in kristallähnlichen Formen, deren Querschnitt meist ein ziemlich regelmäßiges Rechteck bildet (s. Abbildung, S. 113, Fig. 1). Erzeugt man in Seifenwasser in einer durchsichtigen Glasflasche kleine und größere Blasen, indem man durch einen Strohhalm Luft in die Flüssigkeit bläst, so nehmen diese durch gegenseitig aufeinander ausgeübten Druck die gleichen Formen wie jene Zellen an. Andere Zellen tragen, wie die Samenkörperchen, an einer bestimmten Stelle einen geißelförmigen oder fadenartigen Fortsatz mit der Fähigkeit, denselben in regelmäßige Schwingungen zu versetzen. Es sind das die schon erwähnten Geißelzellen (s. Abbildung, S. 112, Fig. 4 und 5). Die ihnen sehr nahestehenden Flimmerzellen (s. Abbildung, S. 112, Fig. 7) tragen eine größere Anzahl beweglicher, schwingender fadenartiger Fortsätze, Wimper- oder Flimmerhaare, an ihrer frei liegenden Oberfläche. Andere Zellen fallen durch eine zackige Gestalt mit unbeweglichen Fortsätzen auf (s. Abbildung, S. 112, Fig. 12, und S. 113, Fig. 4 und 5).

Auch der Kern der Zelle kann aus seiner typischen Kugelform in eine ovale oder stabförmige übergehen (s. Abbildung, S. 113, Fig. 2c, und S. 112, Fig. 8 und 10). Bei Insekten hat man Zellen mit verästeltem Kern gesehen. Manchmal enthält eine Zelle mehrere Kerne, ohne daß es zu einer wahren Teilung des Protoplasmas gekommen wäre (s. Abbildung, S. 113, Fig. 4). Solche Zellen finden wir im Knochenmark, im Gewebe des Nabelstrangs und anderswo. Auch die quergestreiften langen Muskelzellen, welche zahlreiche Kerne enthalten, können wir an dieser Stelle erwähnen (s. Abbildung, S. 112, Fig. 10 und 11). Das Protoplasma des Zellkernes kann sich, wie wir hörten, in mannigfacher Weise in Maschenräume und fadenartige Bildungen sondern (s. Abbildung, S. 113, Fig. 6). Auch das Kernkörperchen beteiligt sich unter Umständen an der allgemeinen Umänderung, namentlich treten manchmal blasenartige Hohlräume in ihm auf.

Das Protoplasma der Zellen wandelt sich in der mannigfaltigsten Weise um. Größe und Anzahl der Protoplasmakörner sind außerordentlich verschieden. Auch die Form dieser Körner und ihre physiologische Bedeutung wechselt. In den quergestreiften Muskelzellen liegen, in

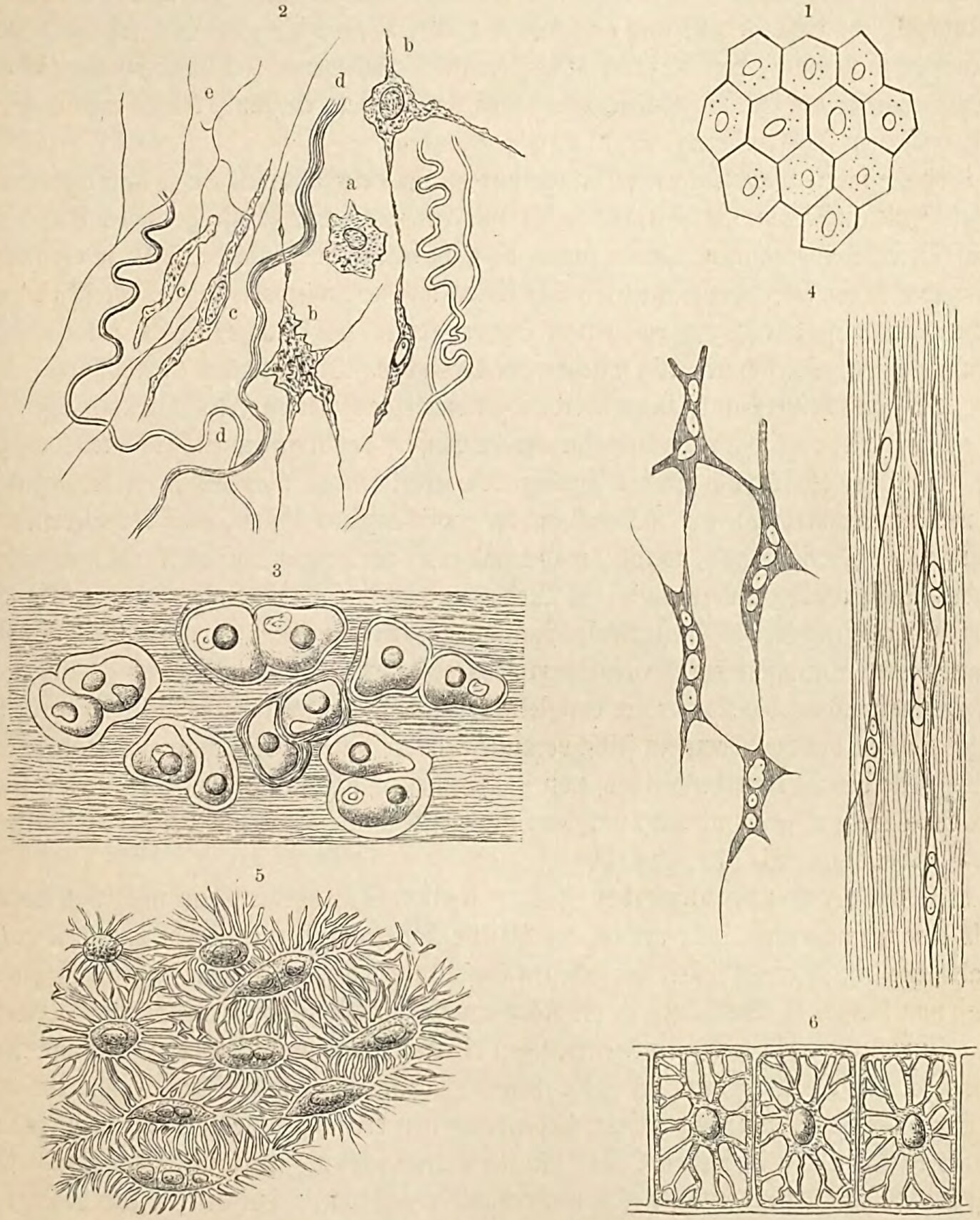


Verschiedene Zellformen.

1) Zelle mit verdicktem Randsaum; 2) Cylinderzelle; 3) Zellplättchen aus der Mundhöhle; 4 und 5) Geißelzellen; 6) kugelige Zellen aus der Leber; 7) Flimmerzellen; 8 und 10) glatte oder organische Muskelfasern; 9) Blutzellen: a) ein weißes Blutkörperchen, b) rote Blutkörperchen, von der Fläche und Kante gesehen, c) Blutzellen, in Faserstoff eingebettet; 11) quergestreifte Muskelfaser; 12) zentrale Nervenzelle.

weicheres Protoplasma eingebettet und in vollkommen regelmäßiger, reihenweise geschichteter Anordnung, Körnchen von gewissermaßen kristallähnlicher Gestalt (s. Abbildung, S. 112, Fig. 11). Bei manchen Zellen scheiden sich aus dem Protoplasma wahre Kristalle aus. In den temporären Hohlräumen, den Vakuolen, des Protoplasmas (s. Abbildung, S. 113, Fig. 6) können sich

verschiedene Flüssigkeiten, teils wässerige Lösungen, teils Fette, zeitweise ansammeln. Im weiteren Verlauf des Zellenlebens sehen wir sie wieder verschwinden, indem sie zum Teil im Stoffwechsel verbraucht werden.



Zellen, in verschiedener Weise zu Geweben verbunden.

1) Oberhautgewebe einer zweimonatigen menschlichen Frucht, aus sechseckigen Zellen; 2) Ein Stückchen lebendes Bindegewebe des Frosches, a) fast ganz zusammengezogene Zelle, b) sternförmig verästelte Zellen, c) bewegungslose Zellen, d) Bündel von Bindegewebsfasern, e) elastische Fasern; 3) Knorpelzellen, in Zwischensubstanz eingebettet, vom Menschen, 4) Spindelförmige und sich verästelnde Bindegewebszellen mit mehreren Kernen, in gallertige Zwischensubstanz eingelagert, aus dem Nabelstrange; 5) Knorpelgewebe eines Cephalopoden; 6) einer Meduse.

Ein anderes Prinzip der Formwandlung der Zelle spricht sich in der Gruppe des sogenannten Bindegewebes darin aus, daß die Grenzpartien des Protoplasmas der Zelle einem gewissen Härtungsprozeß unterliegen. Dadurch entsteht zunächst eine mehr oder weniger dicke Zellhaut. Steigert sich dieser Vorgang, so entsteht die Zellkapsel, und schließlich umgibt sich die Zelle mit einem aus morphologisch und chemisch umgestalteter Masse, Zwischenzellensubstanz, bestehenden

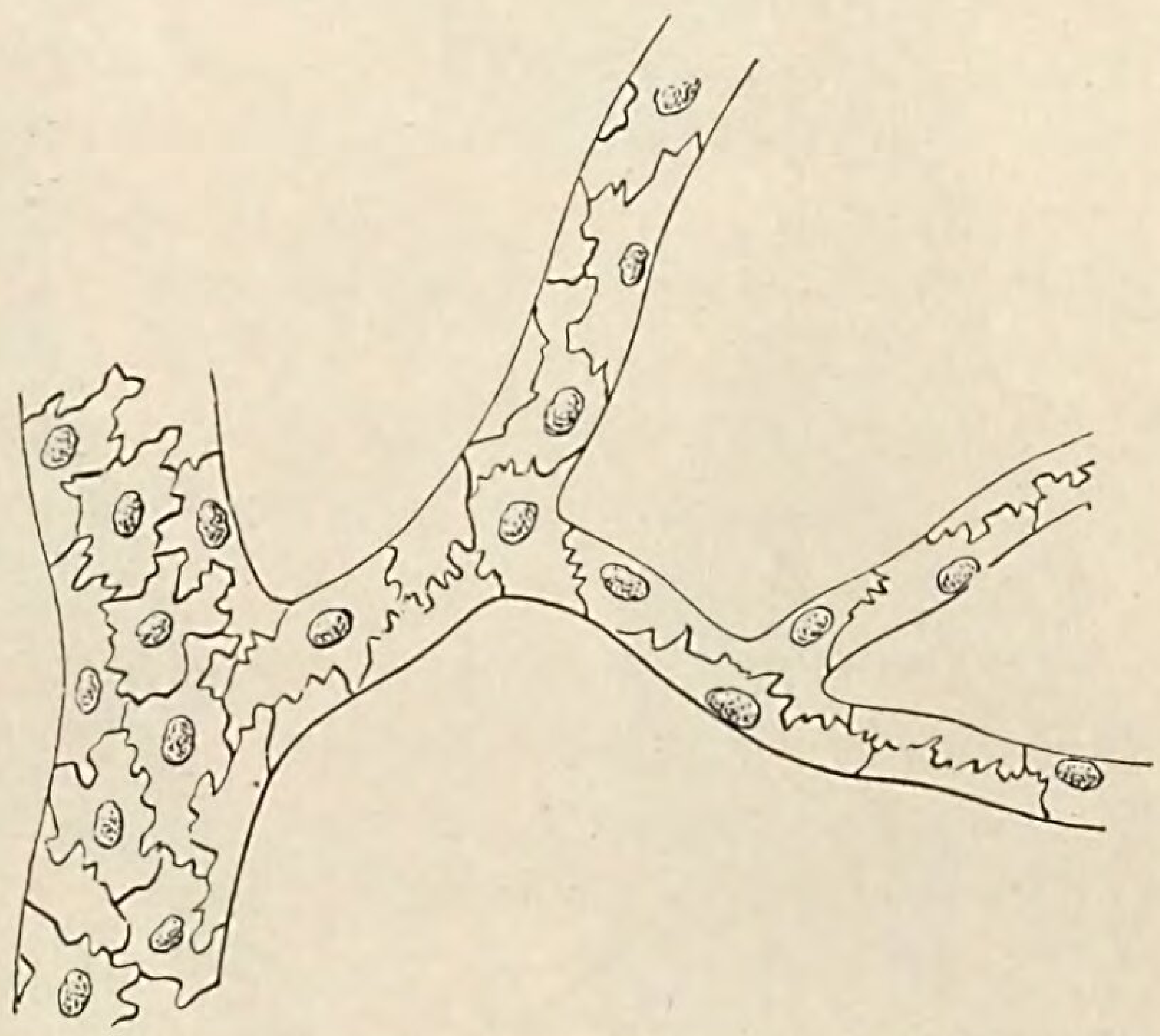
Hof, der die Nachbarzellen mehr oder minder weit voneinander trennt (s. Abbildung, S. 113, Fig. 3 und 4). Die Menge und räumliche Ausdehnung dieser Zwischenzellensubstanz ist in verschiedenen Geweben sehr verschieden. Auch zwischen scheinbar direkt nebeneinander liegenden Gewebszellen läßt sich doch meist noch durch mikrochemische Methoden eine „Kittsubstanz" nachweisen. Im Knorpel, im Bindegewebe und an anderen Orten werden die zum Teil faserigen Zwischenzellenmassen so mächtig, daß die noch aktiv beweglich gebliebenen Zellenprotoplasmakörper, die Protoplasmareste der Bildungszellen, aus denen das Gewebe entstand, relativ weit auseinander gerückt erscheinen (s. Abbildung, S. 113, Fig. 3 und 4).

Lebhafte vitale Bewegungen verlaufen nur an noch elastisch-weichem Zellprotoplasma. Die erhärtete Zellenzwischensubstanz würde daher nur einen vergleichsweise geringen Anteil an den organischen Lebensvorgängen nehmen, wenn sie nicht in der Mehrzahl der Fälle in eigentümlicher Weise näher in den Kreis der lebhafteren Stoffbewegung hereingezogen würde. Meist ist die ganze Zwischenzellenmasse durchzogen von einem System feiner Hohlräume, welche teils zwischen den Fasern verlaufen, teils sich netzartig miteinander verbinden. Die Fäserchen (s. Abbildung, S. 113, Fig. 4) der Zwischenzellensubstanzen werden getrennt durch zarteste Flüssigkeitsschichten, welche unter einem stärker oder schwächer ausgesprochenen Einfluß der allgemeinen Flüssigkeitsbewegungen stehen. Die Protoplasmakörper der Bindegewebszellen senden überdies in die erwähnten netzartig miteinander verbundenen Lückenräume der Zwischenzellensubstanz nach verschiedenen Seiten scheinfußartige Fortsätze aus, welche, manchmal nach vorausgegangener Verästelung, die umliegenden Nachbarzellen untereinander in Verbindung setzen (s. Abbildung, S. 113, Fig. 2, 4, 5 und 6). So erscheint die Zwischenzellensubstanz durchzogen von einem vielmaschigen Protoplasmanetz, aus feineren und feinsten Protoplasmafäden gesponnen, in deren Kreuzungspunkten dickere Protoplasmaknötchen, die Körper der verästelten Zellen, liegen. Auf diese Weise wird ein inniger Verkehr zwischen den Nachbarzellen selbst vermittelt. Aber dieselbe Einrichtung ermöglicht es auch, daß jede Zelle den sie umgebenden Hof von Zwischenzellensubstanz als ihr Zellenterritorium, wie es R. Virchow genannt hat, mit dem nötigen Nahrungsmaterial versorgt und sein Leben erhält (s. Abbildung, S. 113, Fig. 5).

Diese Art der Verbindung der Zellen untereinander erscheint nicht mit Notwendigkeit als eine permanente. Die Fortsätze der Bindegewebszellen entstehen zum Teil unzweifelhaft als Ausfluß ihrer Fähigkeit zur aktiven Gestaltsveränderung. Wir sehen, daß unter dem Einfluß von Reizen die Ausläufer in die Körpermasse zurückgezogen werden können. Aber trotzdem müssen wir in dieser wenigstens zeitweiligen direkten Kommunikation der Zellen untereinander eine der Formen des Aufgebens der geschlossenen Zellenindividualität erkennen, wodurch der animale Organismus die Bildung höherer Lebenseinheiten erreicht, als es die einzelnen Zellen sind. Hier und da sehen wir in diesem Sinne die sich vereinigenden Zellen nur durch wenige sparsam oder gar nicht verästelte Ausläufer sich untereinander verbinden. Bei der für das Leben des Gesamtorganismus bedeutungsvollsten Zellengruppe, bei den Nervenzellen, überwiegen aber die charakteristischen Zellfortsätze und Zellausläufer den Zellkörper selbst oft so bedeutend, daß dieser nur als eine rundliche kernhaltige Anschwellung der Fortsätze erscheint (s. Abbildung, S. 112, Fig. 12). Auch zu längeren Schläuchen und Hohlfasern, welche modifiziertes Protoplasma oder Ernährungsflüssigkeiten in sich enthalten, vereinigen sich die Zellen. Früher glaubte man, daß die mikroskopischen Elemente des Fleisches oder der quergestreiften Muskelsubstanz, die cylindrischen, langgestreckten Muskelfasern, aus der reihenweisen Verschmelzung von Zellen, deren Kerne erhalten blieben, entstanden seien (s. Abbildung, S. 112, Fig. 10). Neuerdings neigt man aber zu der Annahme, daß die langen Muskelfasern mit quergestreiftem Protoplasma sehr in die Länge gestreckte einfache Zellen seien, bei welchen eine Vermehrung der Kerne ohne weitere Trennung

des Zellenindividuums eingetreten sei. Für die Bildung der kernhaltigen Hüllen der Nervenfasern wird dagegen noch immer eine Verschmelzung peripherischer Zellen, welche dann den aus der Nervenzelle hervorwachsenden Fortsatz wie eine Scheide umhüllen, für wahrscheinlich gehalten. Die haarfeinen Hohlräume, in welchen sich die Ernährungsflüssigkeiten bewegen, die Haar- oder Kapillargefäße, entstehen durch flächenhafte Aneinanderlagerung von Zellen (s. untenstehende Abbildung). Eine Verbindung der zentralen Nervenzellen untereinander soll durch korbartiges Anlagern und Umspinnen der Zellen durch interzentrale Faserendbüsche, ohne direkte Verschmelzung, erfolgen.

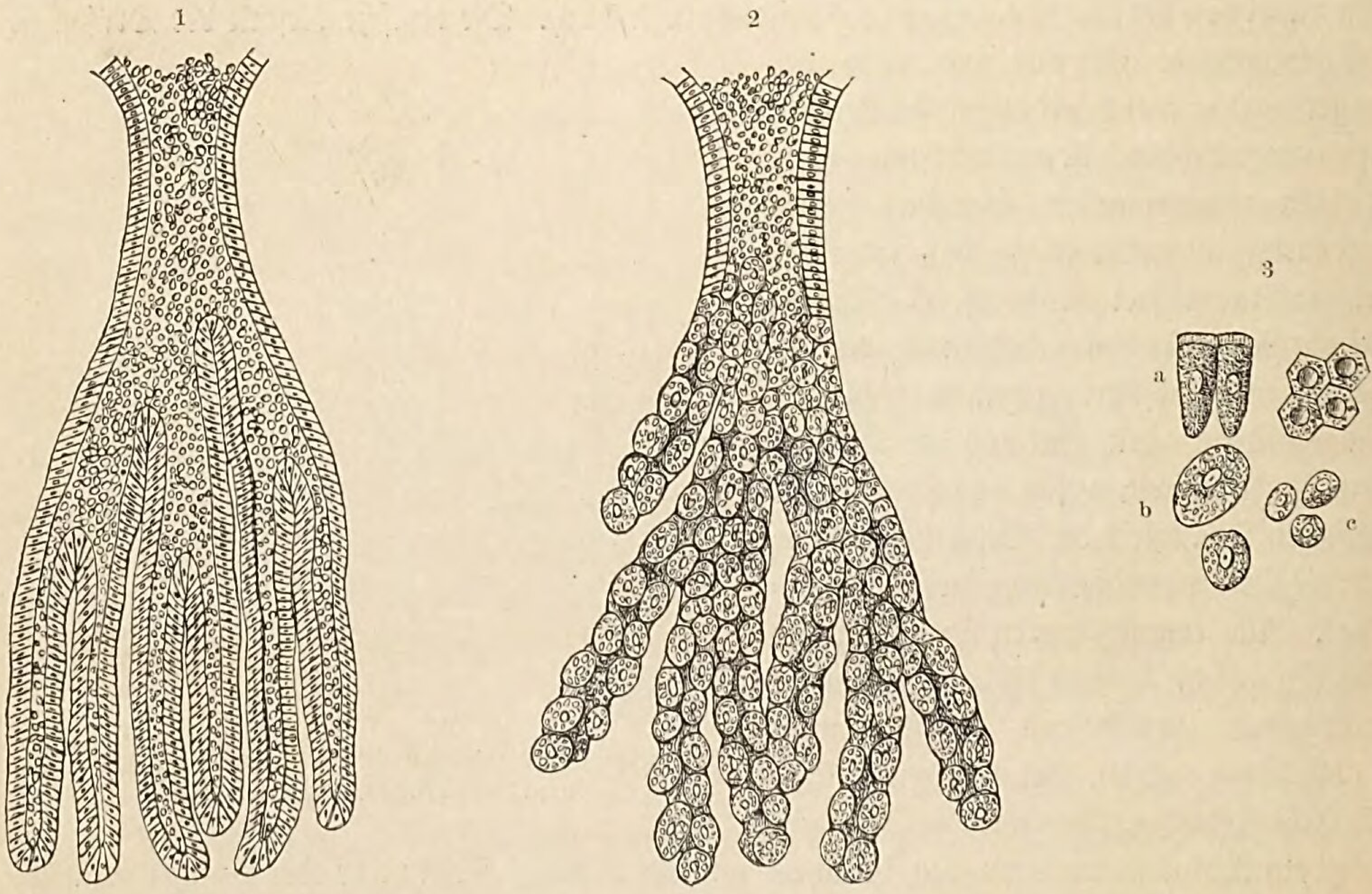
Eine weitere Art des Aufgebens der spezifischen Zellenindividualität erkennen wir darin, daß sich eine größere oder geringere Anzahl von Zellen mit einer gemeinsamen, im allgemeinen schlauchartig geformten Hülle umgibt und sich zur Hervorbringung gewisser chemischer Thätigkeiten zu einer Drüse vereinigt (s. Abbildung, S. 116). Die typische Gestalt der Drüsen ist die Schlauchform. Ein aus einer mehr oder weniger zarten Haut gebildeter handschuhfingerartiger Schlauch ist auf der Innenfläche mit dicht nebeneinander liegenden Zellen tapetenartig ausgekleidet, so daß ein mittlerer Hohlraum frei bleibt (z. B. Magenschleimdrüsen). In diesen Hohlraum, der als Reservoir und Ausführungsgang der schlauchförmigen Drüse dient, tritt aus den Drüsenzellen die Flüssigkeit, welche das Produkt der spezifischen Thätigkeit der Drüsenzellen darstellt: die Drüsenausscheidung, das Drüsensekret. Alle komplizierteren Drüsenformen lassen sich auf die einfach schlauchförmige Grundgestalt zurückführen (s. Abbildung, S. 116, Fig. 1 und 2). Bei manchen Drüsen (z.B. Schweißdrüsen) sehen wir das Schlauchende zu einem Knäuel aufgewunden, bei anderen ist der Schlauch selbst mehr oder weniger verästelt. Indem die Enden dieser Verästelungen zu kugeligen Hohlräumen anschwellen, erhält die Drüse eine gewisse Ähnlichkeit mit einer Weintraube; an dem verästelten Ausführungsgange der Drüse sitzen die beerenartigen Bläschen wie die Weinbeeren an dem verästelten Traubenstiel. Das großartigste Beispiel einer solchen traubenförmigen Drüse (s. Abbildung, S. 117) liefert die Lunge; sie unterscheidet sich von den übrigen Drüsen aber dadurch, daß ihr Ausscheidungsprodukt nicht eine wässerige, sondern eine gasförmige Flüssigkeit ist.



Aus zackigen Zellen zusammengesetzte Wandung eines Haar- oder Kapillargefäßes. Stark vergrößert.

Auch chemische Umgestaltungen erleidet das Zellprotoplasma. Wie gesagt, besteht bei animalen Organismen die Kittsubstanz und Zwischenzellensubstanz wie die Zellhäute selbst aus dem chemisch veränderten, „verdichteten“ Protoplasma der Außenpartien der Zellen. Die Eiweißkörper des Protoplasmas nehmen an dieser Umänderung vor allem teil, es entsteht aus ihnen der Hauptmasse nach in der Mehrzahl der Organe „leimgebende“, in einigen „knorpelleimgebende Substanz“. Diese Härtung und chemische Umwandlung des Protoplasmas kann bis zur Bildung der als „elastische Substanz“ bezeichneten Modifikation fortschreiten, welche den stärksten chemischen Lösungsmitteln zu widerstehen vermag. An der Oberfläche des Körpers bildet sich aus der Umwandlung des Protoplasmas der Oberhautzellen die Hornsubstanz. Aus Hornsubstanz bestehen auch Haare und Fingernägel.

Die feinsten Zellmembranen pflegt man als strukturlos zu bezeichnen. Bei irgend dickeren derartigen Bildungen zeigt sich aber nicht nur regelmäßig eine Schichtung und Faserung in horizontaler Richtung, sondern wir sehen sie sehr häufig auch von mehr oder weniger regelmäßigen Lückensystemen durchsetzt, welche durch die aktive Beweglichkeit der Protoplasmakörper in der noch gallertigen Hüllsubstanz ausgehöhlt werden können, indem sich scheinfußähnliche Protoplasmafortsätze in sie einschieben. Auch für die feinen senkrechten Durchbohrungen, welche viele Zellen auf ihrer freien Fläche erkennen lassen, gilt höchst wahrscheinlich die gleiche Entstehungsart. Für die feinen radiären Lücken in der durchsichtigen Zone des Eies der Stachelhäuter ist dieser Modus der Bildung, wie das Selenka für die Gallerthülle des Seeigel-Eies gezeigt hat, wie es scheint, mit voller Sicherheit festgestellt.

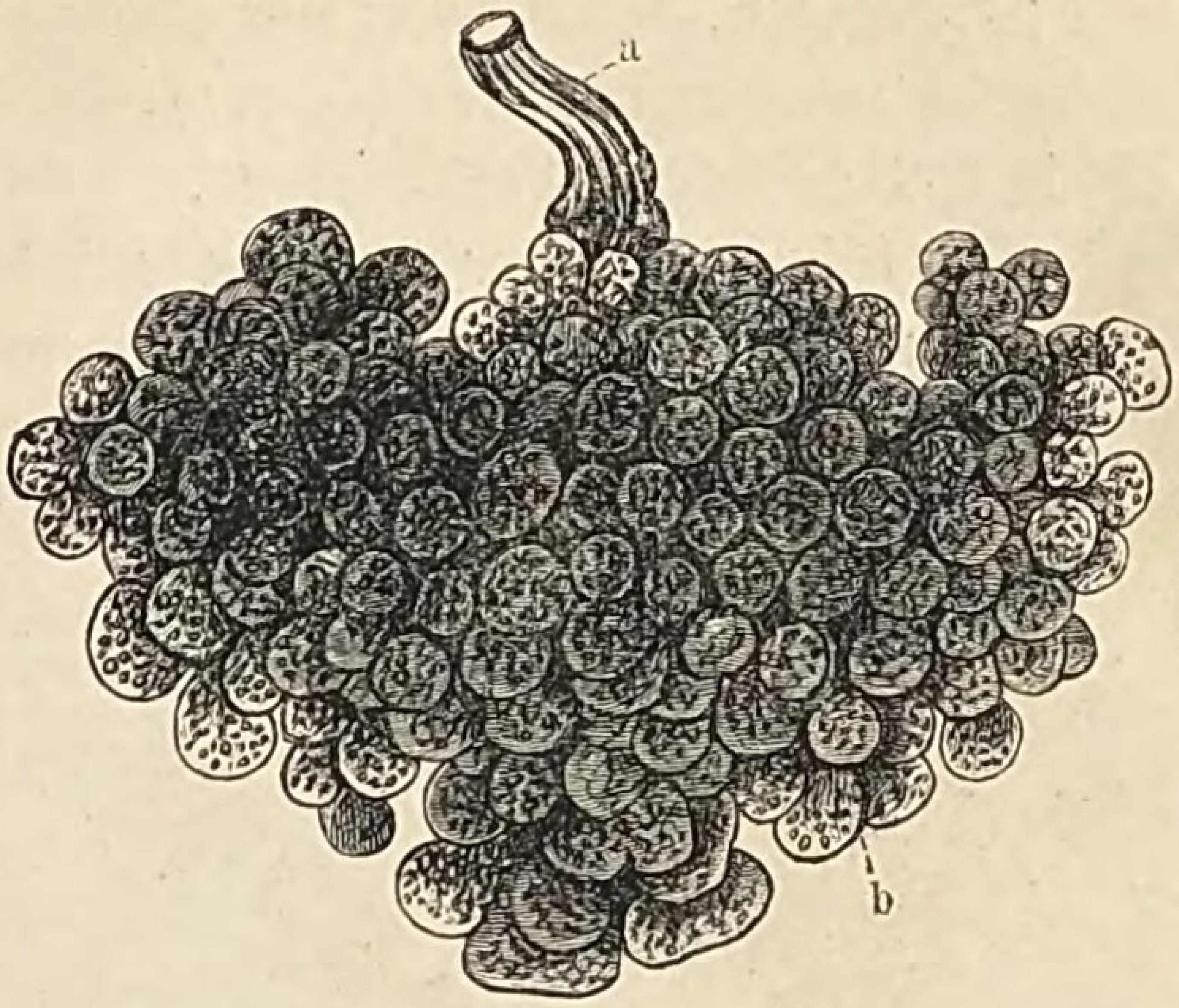


Schlauchförmige Drüsen aus dem menschlichen Magen, 100mal vergrößert.

1) Magenschleimdrüse aus dem Pförtnerteil, ganz mit Cylinderzellen ausgekleidet; 2) Labdrüse oder Magensaftdrüse von dem Magenmundteil, der Eingang mit Cylinderzellen ausgekleidet, die Drüsenschläuche selbst mit größeren und kleineren Labzellen; 3a) Cylinderzellen, a') vier Cylinderzellen, von oben gesehen, b) große, c) kleine kugelige Zellformen aus den Labdrüsenschläuchen.

Auch in der Hinsicht ist das Leben der im Gesamtkörper gebundenen Zellen mit dem freien Leben etwa einer Amöbe zu vergleichen, daß beide in ihrer Existenz an die umgebenden Flüssigkeiten gebunden sind. Der einfache Organismus der im Süßwasser oder im Meere lebenden nackten Wurzelfüßer hat an seiner Oberfläche beständig Gelegenheit zu Stoffverkehr mit dem ihn umgebenden flüssigen Medium. Auch die Zellen des höheren animalen Organismus leben entweder frei, wie jene kleinen Tierchen, in einer Flüssigkeit, welche die notwendigen Lebensbestandteile enthält, z. B. im Blut oder in der Lymphe, oder sie sind bei beschränkter Ortsbeweglichkeit doch wenigstens beständig in dieser Flüssigkeit gebadet. Auch bei dem höchsten Organismus beruht das Leben der elementaren Einzelorgane, der Zellen, auf einem Verkehr mit der umgebenden Flüssigkeit, wie bei dem einfachsten im Süßwasser oder im Meere lebenden Wassertierchen. Der Mensch trägt aber im Blut und der Lymphe das Meer gleichsam in seinem Körper mit sich umher, von welchem seine Zellen umspült und genährt werden.

Die animale Zelle entspricht, solange sie wirklich lebt, trotz all der möglichen Umbildungen, welche sie beim Aufbau des Gesamtorganismus erleidet, doch immer im wesentlichen noch der Eizelle und den niedrigsten frei lebenden animalen Wesen. Aus der Eizelle entstanden, verleugnet sie niemals vollkommen den alten Eicharakter. Vor allem spricht sich der letztere in ihrer Fähigkeit zur Vermehrung, zur Hervorbringung neuer Zellen, aus. Aber bei der Mehrzahl der Gewebszellen bleibt diese Fähigkeit auf jener vergleichsweise niedrigen Stufe stehen, welche sich in dem ersten Stadium des Furchungsprozesses, in der Erzeugung gleichartiger Generationen, ausspricht. Nur in den keimbereitenden Organen befinden sich Zellen, welche bei den höheren animalen Wesen durch gegenseitige Verschmelzung und Aufgebung ihrer Individualität die Fähigkeit erhalten, sich in fortschreitenden Wachstums- und Verwandlungsprozessen zu einem dem elterlichen ähnlichen Gesamtorganismus zu entwickeln. Jede für sich allein ist, wie die übrigen Gewebszellen, höchstens zur Erzeugung gleichartiger Zellengenerationen befähigt.



Schema einer traubenförmigen Drüse.
a) Ausführungsgang, b) Drüsenbläschen. Stark vergrößert.

---

3. Beginn einer funktionellen Gliederung der Fruchtanlage.

Inhalt: Die Keimblase. — Die Keimblätter.

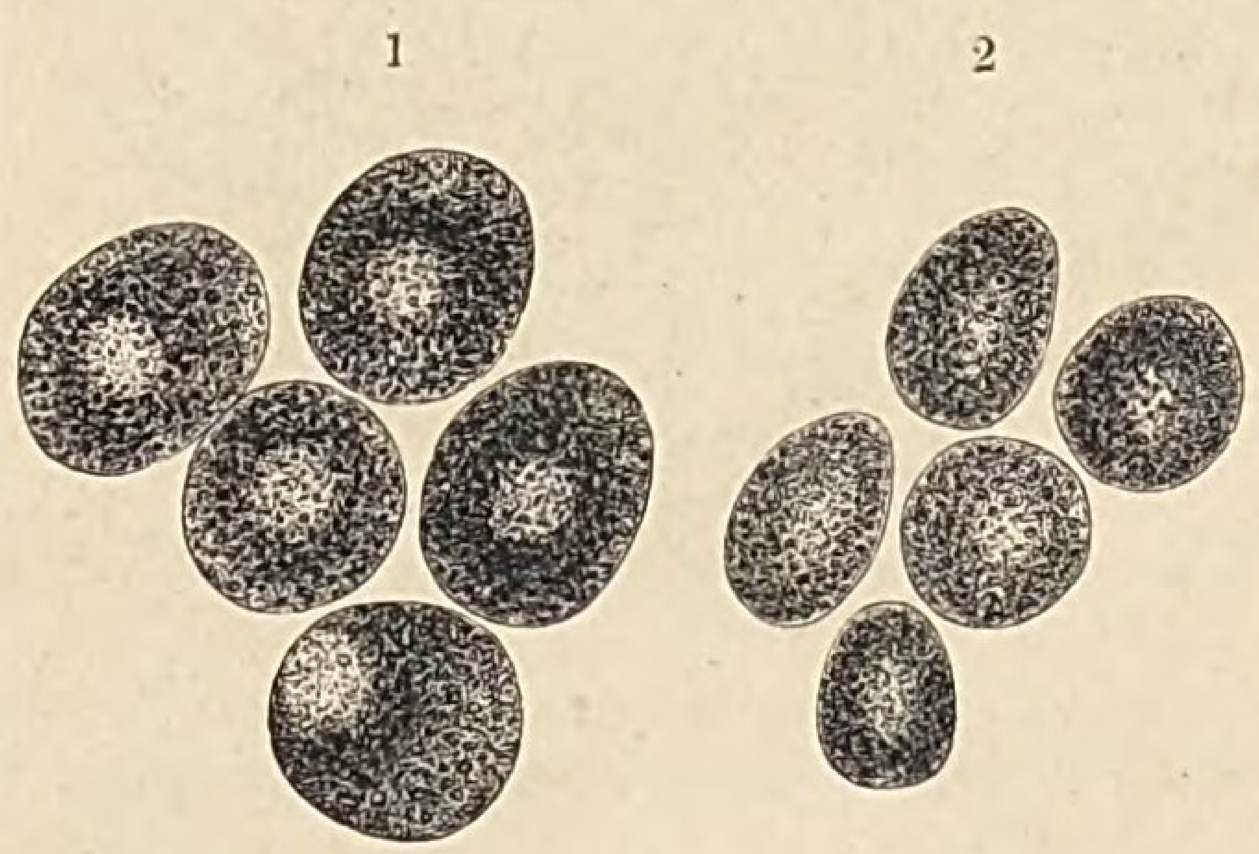
Die Keimblase.

Wenn wir im ausgehenden Winter die für den kommenden Frühling schwellende Baumknospe öffnen, so erkennen wir in ihr schon die Blätter- und Zweiganlagen, welche nun bald mit frischem Grün das junge Jahr schmücken sollen. Wenn wir das Samenkorn aus seiner schützenden Hülle lösen, so finden wir in ihm die künftige Pflanze bereits mit dem kleinen Stengel, mit den Würzelchen und Blättchen angelegt. Wenn wir aus dem Neste der brütenden Henne eins der Eier nehmen und in blutwarmes Wasser legen, so verrät sich uns, wenn das Ende der Brütezeit herannaht, durch die schwankenden Bewegungen, welche das schwimmende Ei aktiv im Wasser ausführt, daß im dunkeln mütterlichen Schoße des Eies ein noch schlummerndes, aber doch im Schlafe sich schon bewegendes Wesen dem wachen Dasein im Sonnenlicht entgegenträumt. Wer hätte es nicht gewünscht, auch in diese geheimnisvollste Werkstätte der schaffenden Natur einen Einblick gewinnen zu können. Aber wenn wir das lebenbergende Ei ohne die nötige Erfahrung zerbrechen, so erkennen wir in ihm nichts als eine Unlust erweckende Mißgestalt, die sich weit von dem niedlichen Küchlein unterscheidet, das in einigen Tagen, aus demselben Ei geschlüpft, uns unter den Flügeln seiner glücklich sorgenden Mutter entgegengezirpt hätte.

Es erfordert eine hohe Sorgfalt und die vollendetste Ausbildung der naturwissenschaftlichen Untersuchungstechnik, um die Entstehungs- und Bildungsgeschichte des Küchleins im Ei mit

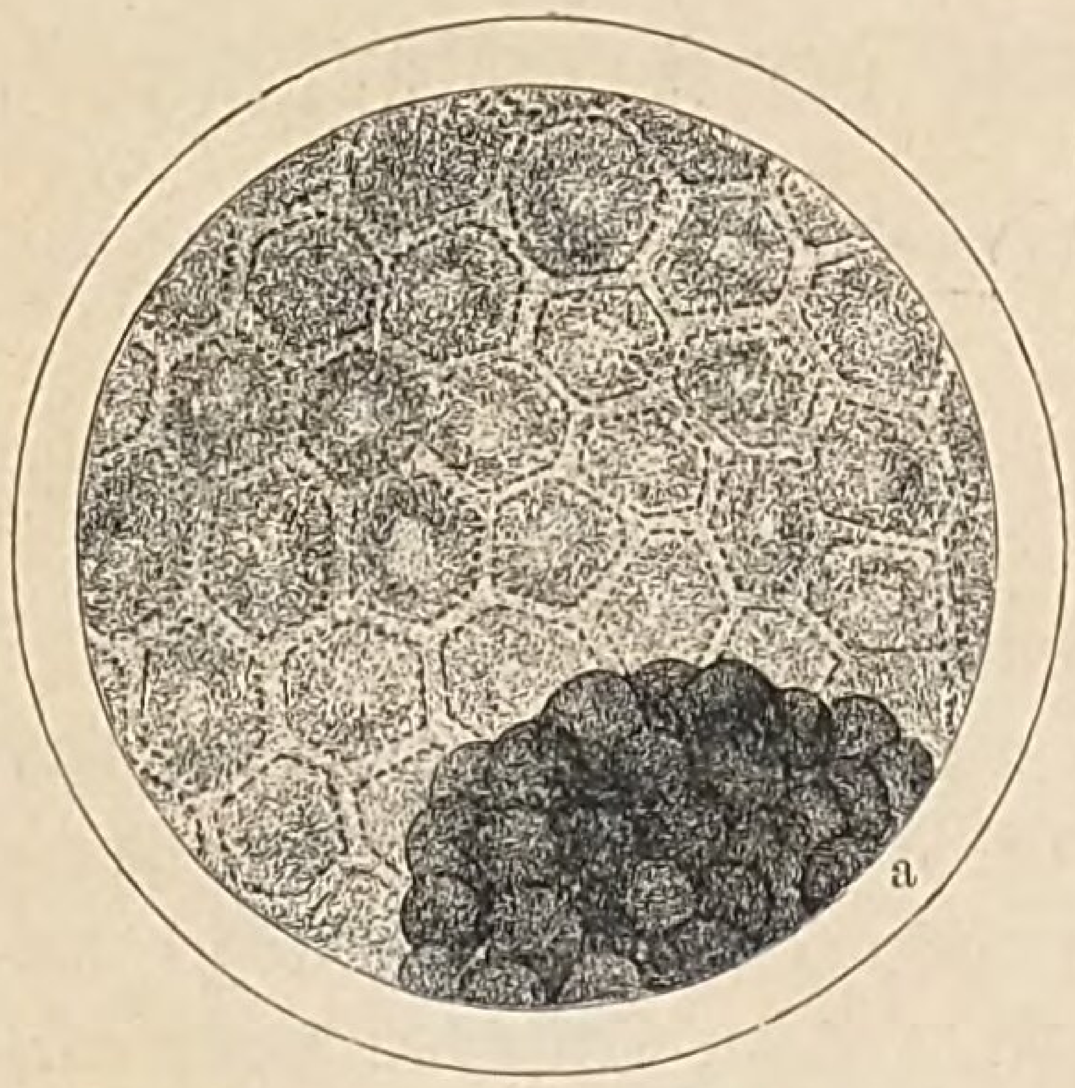
wahrem wissenschaftlichen Erfolg beobachten zu können. Sind diese unbedingt nötigen Voraussetzungen erfüllt, so bietet aber das bebrütete Hühnerei eins der vorzüglichsten Objekte dar, um das Werden des sich fortschreitend aus der Uranlage entwickelnden höheren animalen Organismus exakt zu verfolgen, wodurch wir sehr wichtige Aufschlüsse auch für die Rätsel der Körperbildung, namentlich in ihren mittleren Perioden, bei den Säugetieren und dem Menschen erhalten. (S. Tafel „Entwickelung des Hühnereies".)

Wir haben den Säugetierkörper auf der ersten Stufe seiner Bildungsgeschichte, die im Prinzip auch die der Menschen ist, als einen kleinen kugeligen Protoplasmaklumpen kennen gelernt, und die ersten Vorgänge der Leibesbildung sprachen sich in jenem wunderbaren Prozeß der Furchung aus, durch welchen infolge fortschreitender Teilung des Protoplasmas der befruchteten Eizelle schließlich aus dieser ein kugeliger Haufe aus sehr kleinen, dem Ei im Ansehen und Verhalten jedoch noch ähnlichen, rundlichen, nackten Zellen (s. nebenstehende Abbildung) entstanden war. Die Zusammenhäufung aller dieser lebenden Kügelchen hat eine gewisse äußere Ähnlichkeit mit einer Himbeere oder Maulbeere, und man hat sie darum als Maulbeerform der Fruchtanlage bezeichnet (vgl. Abbildung, S. 93, Fig. 3). Wir sprachen diese kleinen, aus dem Furchungsvorgange entstandenen Zellengebilde als die Bausteine des künftigen fertigen Körpers an, deuteten aber schon darauf hin, daß in vollkommen direkter Weise sich nur einzelne der zahlreich angelegten mikroskopischen Bauelemente an dem Aufbau des Leibes wirklich beteiligen.



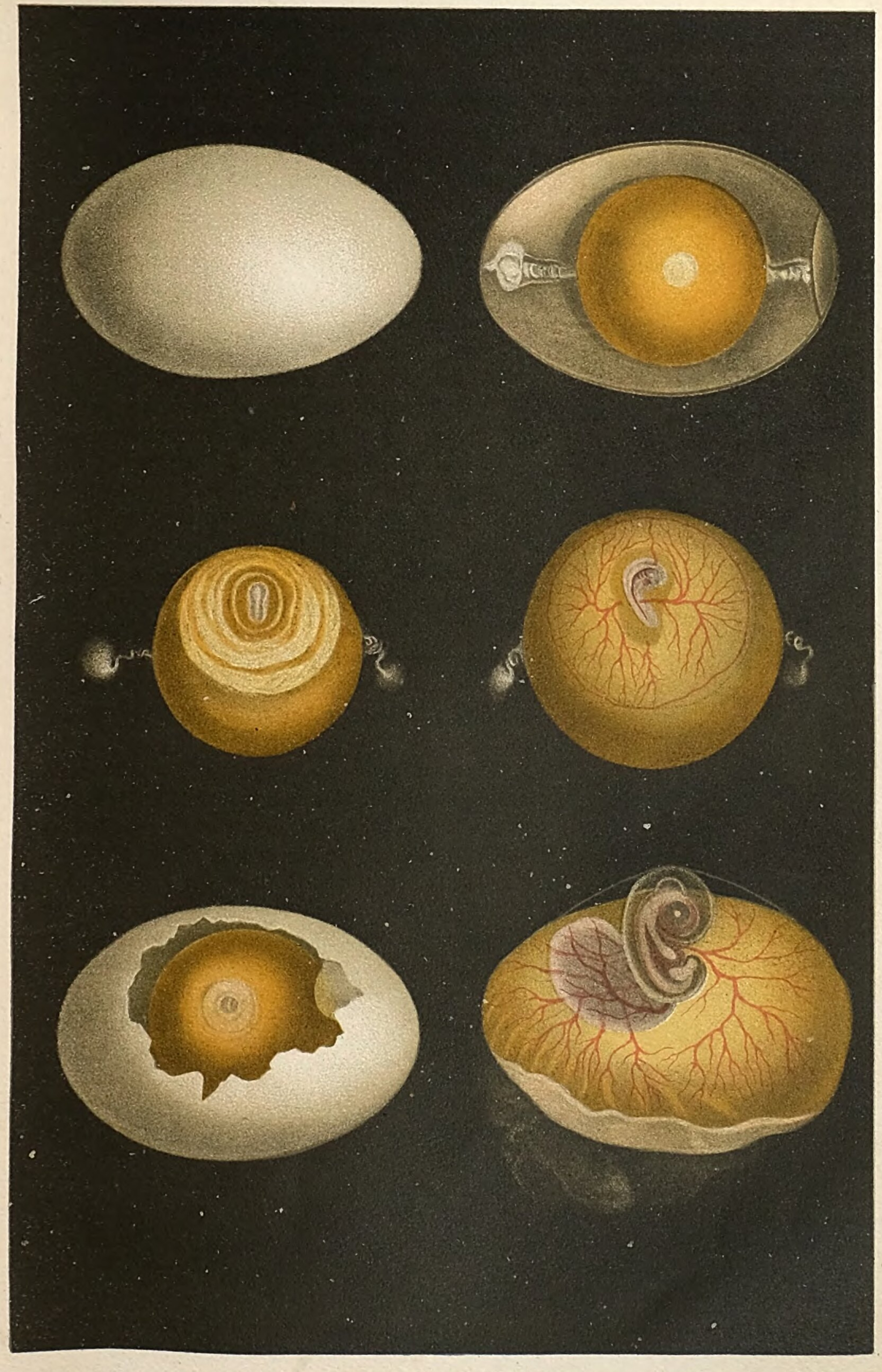
Einzelne Furchungszellen aus dem Kaninchen-Ei: 1) früherer, 2) späterer Generationen. Stark vergrößert.

Von der Form des soliden Kugelhaufens schreitet die Entwickelung des Säugetier-Eies nun in der Art fort, daß sich die Zellengruppe innerhalb der ursprünglichen Eihülle, welch letztere während der ganzen Eientwickelung, wenn auch sehr modifiziert und durch Verbindung mit anderen hautartigen Gebilden verdickt, fortbesteht, zu einer kleinen, zunächst der Hauptsache nach aus einer einzigen Zellschicht bestehenden Blase, zur Keimblase, umwandelt. Die Höhle der Keimblase ist mit klarer Flüssigkeit erfüllt, und das Auftreten dieser Flüssigkeit im Inneren der „Maulbeere" erscheint als eine der mechanischen Ursachen dieser Blasenbildung. Anfänglich sind die Grenzen der zur Keimblase zusammengelagerten Zellen noch außerordentlich zart, bald aber werden die Zellen, indem sich jede mit einer Zellhaut umgibt, deutlicher und bilden, durch gegenseitigen Druck und durch den Druck der inneren Flüssigkeit abgeplattet, dann ein sehr hübsches Mosaik, aus fünf- und sechseckigen mikroskopischen Elementen bestehend, von denen jedes einen Kern erkennen läßt.



Die Keimblase des Kaninchen-Eies. a) Erste Andeutung des Fruchthofes. Stark vergrößert.

Aber nicht alle aus der Furchung hervorgegangenen Zellen werden für die Bildung der Keimblase verbraucht. An einer Stelle zeigt die Blasenwandung eine nach innen halbkugelig vorspringende Verdickung. Hier erkennt man ein Häufchen ursprünglich im Inneren der Maulbeerform der Frucht als deren Kernmasse gelegener Furchungszellen. Von dieser Wandstelle,



DIE ENTWICKELUNG DES HÜHNER-EIES.

welche sich sehr bald zu dem Fruchthof entwickelt, gehen in der Keimblase die weiteren Bildungen, welche zum Aufbau des eigentlichen Körpers der Frucht führen, aus; hier ist die wahre Baustelle des Körpers, welcher zur Ausbildung seiner Organe und Glieder die zur Herstellung der Keimblase nicht verwendeten Furchungszellen und nur einen Teil jener Zellen aus der Wand der Keimblase benutzt, unter welchen die ersteren direkt liegen.

An diesem Entwickelungsstadium angelangt, wächst das kleine Ei ziemlich rasch. Die Keimblase (s. Abbildung, S. 118) vergrößert sich, indem sich ihre Zellen vermehren; auch der flüssige Inhalt nimmt zu. Die durchsichtige Zone verdünnt sich unter dem Druck der in ihr gelegenen wachsenden Keimblase mehr und mehr, endlich zu einem ganz zarten Häutchen. Und nun bilden sich an jener zum Fruchthof sich gestaltenden Stelle, an welcher die noch frei verfügbaren Zellen im Inneren der Keimblase sich angelegt haben, jene schöpferischen Vorgänge aus, durch welche aus so unbegreiflich einfacher Uranlage schließlich der Wunderbau des menschlichen Organismus aufgerichtet wird.

Die Keimblätter.

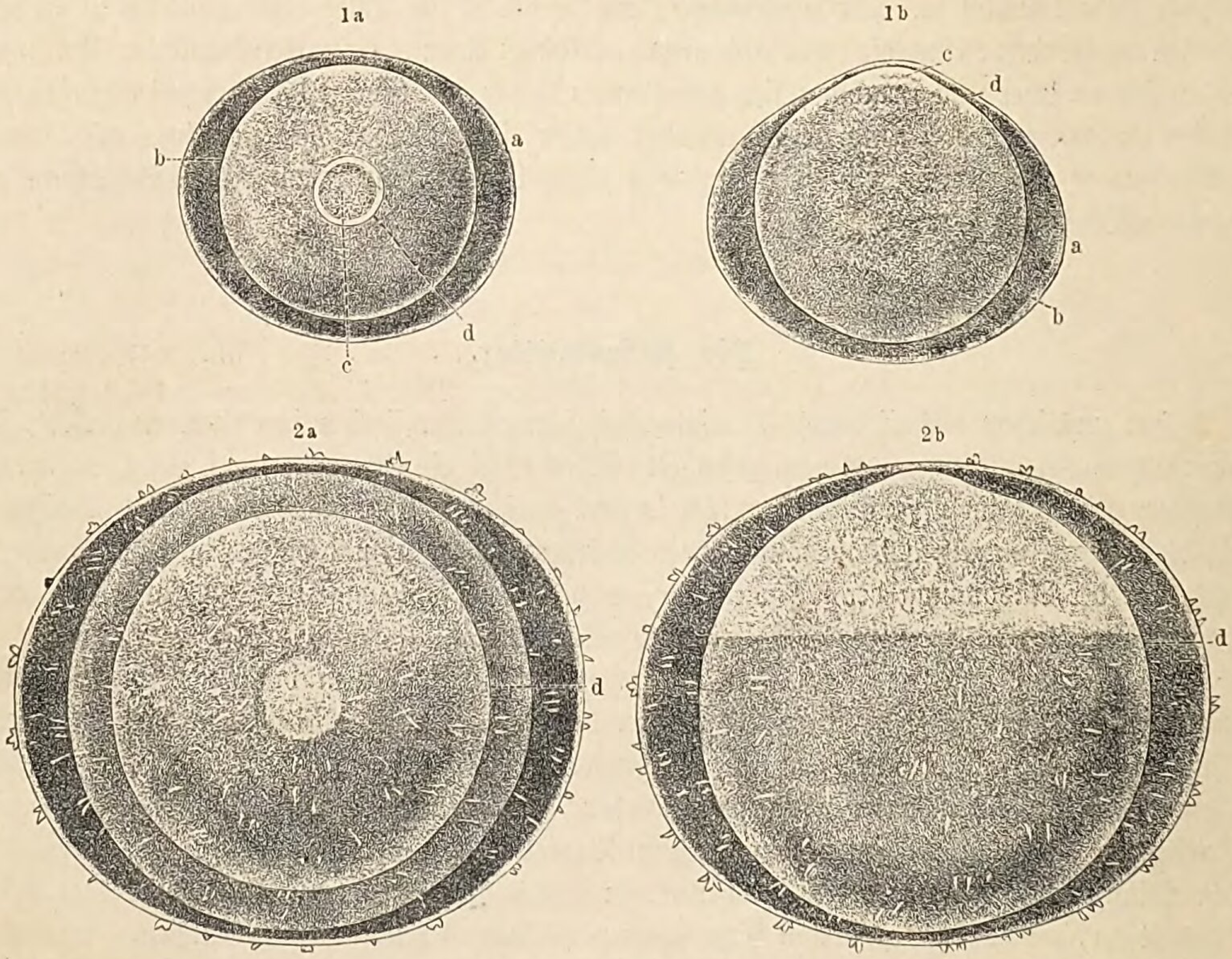
Hat uns schon das Ei durch die Einfachheit seiner Organisation in Erstaunen versetzt, so kann unsere Bewunderung nur noch gesteigert werden durch die Erfahrung, daß alle Organe des künftigen Körpers im wesentlichen zunächst in drei horizontal übereinander lagernden Schichten als blattartige Anlagen, als sogenannte Keimblätter, entstehen, und daß es in diesen Blättern schon vor der Ausbildung der speziellen Organe zu einer physiologischen Sonderung nach den Hauptthätigkeiten des künftigen fertigen Leibes gekommen ist.[1]

Es ist höchst anziehend, die ersten modernen Forscher in diesem dunkeln Gebiet auf den durch ihre Arbeiten neugebrochenen Bahnen zu begleiten. Jeder Schritt bringt Neues und eröffnet weitere Aussichten. Der Schleier, welchen bisher Vorurteile und theoretische, ausgedachte Meinungen über die ersten Bildungsvorgänge der Frucht gebreitet hatten, ist zerrissen, und die Objekte der Forschung erscheinen im natürlichen Tageslicht so überraschend einfach und verständlich. Man merkt den Äußerungen der besten, in frischer Arbeit stehenden Beobachter jener Erstlingszeit an, welche Lust es ist, in diese lange verhüllten Geheimnisse einzudringen. Wie verschieden von dem, was sich die Schulweisheit so lange hatte träumen lassen, war die faktische Lösung des Problems ausgefallen. Die Entstehung der dem Ei im Formwert von Zellen entsprechenden Bauelemente des Körpers durch Teilung des Eidotters im Furchungsprozeß, die Zusammenlagerung der Furchungszellen zu der mit Flüssigkeit gefüllten Keimblase, ein Rest von Furchungszellen an einer Wandstelle der Keimblase angelagert: wie anders lautet das nun als die alte Annahme zusammenwachsender präformierter Glieder der Frucht oder der unsichtbar kleinen Vorbildung des gesamten Fruchtkörpers entweder im männlichen oder weiblichen Keimmaterial oder als die immaterielle Zeugungstheorie Harveys. Und nun kommt die Entdeckung, daß alle jene im Körper des Erwachsenen so vielfältig ineinander geflochtenen Organe und Organgruppen bei ihrer ersten Anlegung als nur drei blattartig übereinander gelagerte Schichten von Zellen erscheinen, und daß jede dieser Schichten der Hauptsache nach die Bedeutung einer Uranlage für ganz bestimmte Gewebs- und Organsysteme besitzt.

---

[1] Zuerst hatte Wolff, dann Döllinger und Pander diese Schichtung in vielen Beziehungen richtig erkannt; aber unsere neueren Anschauungen und die ausbauenden Untersuchungen der modernen Forscher beginnen auch hier vor allem mit den Beobachtungen von K. E. v. Baer, den wir als den Entdecker des wahren Eies der Säugetiere und des Menschen kennen.

Die erste bedeutendere Umwandlung, welche wir an der im wesentlichen einschichtigen Keimblase vor sich gehen sehen, besteht darin, daß sie von jener Stelle aus doppelschichtig wird, an welcher sich der Rest der aus der Eifurchung entstandenen, aber bei der Bildung der Keimblase nicht verwendeten Furchungszellen als ein rundlicher, nach dem Inneren der Blase konvex vorspringender Hügel angelagert hat. Es bildet sich innerhalb der (abgesehen von dieser letzterwähnten Stelle) zuerst nur aus einer Zellenschicht bestehenden Keimblase eine zweite Zellenschicht aus, die als ein Häutchen erscheint, welches mehr oder weniger lose der ersten, äußeren Zellen-

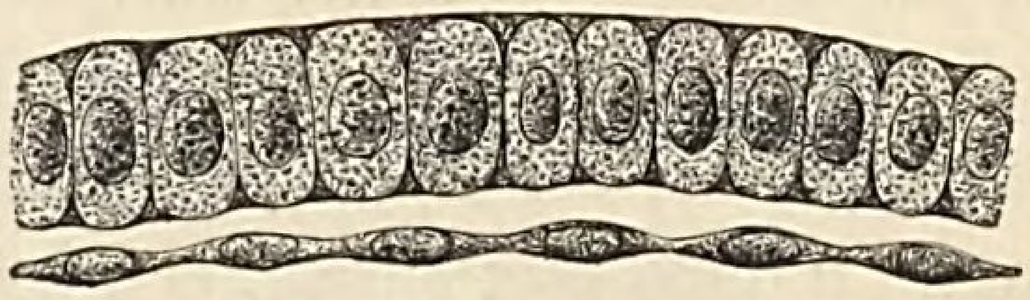


Wachstum der Keimblasenschichten im Kaninchen-Ei. (Die weißen Stellen undurchsichtig, die dunkeln durchsichtig.) 1a) Ei, 3,8 mm groß, a) äußere ganz durchsichtige Eihaut, b) die dichtere Keimblase, c) der Fruchthof, d) der den Fruchthof umgebende Ring, d) gibt die Ausdehnung des sich entwickelnden inneren Keimblattes an; 1b) Dasselbe Ei im Profil; Bezeichnung wie bei 1a); 2a) und 2b) Kaninchen-Ei von 7—8 Tagen Entwickelungszeit, 10mal vergrößert. Die Abbildungen sind nach 1a) und 1b) verständlich, das Ganze ist vergrößert, die Grenze des sich entwickelnden inneren Keimblattes ist bis d) vorgeschritten, hat die Keimblase von innen also schon fast bis zur Hälfte umwachsen.

schicht der Keimblase anliegt. Fester miteinander verbunden sind die beiden Keimblasenschichten nur an der Stelle, von welcher das Wachstum der zweiten ausgegangen ist, an der Stelle, wo die unverbrauchten Furchungszellen lagern, an dem künftigen Fruchthof (s. obenstehende Abbildung, c). Von dem Kreisumfange jenes Hügelchens beginnt nämlich in radiärer Richtung das Wachstum der zweiten Keimblasenschicht (s. obenstehende Abbildung, d), von hier aus schreitet die letztere nach und nach immer weiter fort, von innen die erstgebildete Zellenschicht umwachsend.

Inzwischen hat sich das kleine Eichen nicht nur merkbar vergrößert, sondern es zeichnet sich nun auch jene oft genannte Anlagerungsstelle der unverbrauchten Furchungskugeln als ein immer deutlicher werdender undurchsichtiger Punkt schon für das unbewaffnete Auge auf dem sonst wasserklaren Bläschen aus. Erst von diesem Zeitpunkt an wird die Baustelle der Frucht als Fruchthof bezeichnet.

Von dem Fruchthof aus wird, wie gesagt, die Keimblase zuerst doppelschichtig, später bildet sich zwischen diesen beiden ersten Schichten noch eine dritte mittlere, welche aber in ihrer Ausdehnung auf den Fruchthof, mit welchem sie wächst, beschränkt bleibt. Im Fruchthof ist dann also die Keimblase dreischichtig, während sie im übrigen nur zwei Schichten erkennen läßt. Diese drei flächenhaft übereinander ausgebreiteten Zellenschichten des Fruchthofes sind die oben erwähnten Keimblätter. Baers Scharfsinn erkannte die hohe physiologische Bedeutung dieser Blätter. Schon Wolff hatte gefunden, daß bei der Entwickelung des Hühnchens aus dem unteren der drei Keimblätter sich die Anlage des vegetativen Leibesrohres, die innere Zellenauskleidung des Verdauungsrohres 2c. bilde. Baer stellte diese Bedeutung des dritten Keimblattes auch für die Säugetiere fest und erweiterte sie noch, so daß das betreffende Blatt seiner physiologischen Bedeutung gemäß als vegetatives Keimblatt bezeichnet werden konnte. Aus den beiden anderen Blättern entwickeln sich im wesentlichen die den hauptsächlichsten animalen Funktionen vorstehenden Organe. Das mittlere Keimblatt, in welchem die Gefäßanlagen sich bilden, hatte man zuerst „Gefäßblatt" benannt; aber bald machte man Erfahrungen, welche diesem mittleren Blatt eine viel weiter gehende Bedeutung zuzusprechen nötigten.



Zellenformen: a) des oberen und b) des unteren Keimblattes im Fruchthof. Stark vergrößert.

Obwohl unter Umständen die Reihenfolge der Keimblätter durch eine Art Einstülpung der Fruchtanlage eine umgekehrte sein kann (beim Meerschweinchen), so pflegt man doch die drei Keimblätter als äußeres, mittleres und inneres (Ektoderm, Mesoderm und Entoderm oder Ektoblast, Mesoblast und Entoblast) zu bezeichnen. Das äußere und das innere Keimblatt sind Stücke aus der zuerst gebildeten und aus der zweiten Schicht der Keimblase.[1] Das äußere, erste Keimblatt ist jener Teil der zuerst einschichtig entstandenen Keimblase, an welchem sich das mehrfach erwähnte, zur Blasenbildung nicht verwendete Häufchen von Furchungszellen angelagert hat, respektive eine äußere Schicht dieses Zellhaufens selbst. Das innere, dritte Keimblatt bildet sich als ein Teil der inneren Zellenschicht der Keimblase aus diesem Zellenhäufchen. Schon in sehr früher Zeit gibt sich ein deutlicher Formunterschied zwischen den Zellen zu erkennen, welche das äußere, und jenen, welche das innere Keimblatt zusammensetzen. Während das letztere aus einer Schicht flacher, auf dem Querschnitt spindelförmiger Zellen (s. obenstehende Abbildung, b) besteht, zeigt das erstere von dem Deutlichwerden des Fruchthofes an, und so weit dieser sich erstreckt, eine Verdickung, welche anfänglich nur auf einer Vergrößerung ihrer säulenförmig entwickelten Zellen beruht (s. obenstehende Abbildung, a). Schon während des Stadiums der Maulbeerform hat sich dieser Unterschied vorbereitet durch Differenzen der dieselbe bildenden Furchungszellen. Während sich die Zellen der äußeren Schicht an ihrer Oberseite auf der Innenfläche der ersten Eihülle (der durchsichtigen Zone) bald abplatten, behalten die im Inneren gleichsam als Kernhaufen gelegenen Furchungszellen ihre kugelige Form entweder bei oder gestalten sich durch gegenseitigen, allseitigen Druck in pseudokristallinische Formen um (s. Abbildung, S. 118).

Über die Bildung des mittleren Keimblattes herrscht unter den Forschern noch keine volle Übereinstimmung. Einerseits wurde dasselbe von dem oberen Blatt abgeleitet, und ein unverkennbarer inniger Zusammenhang der beiden genannten Blätter in gewissen Bildungsstadien dient dieser Annahme zur Stütze. Andere brachten die Bildung des Mittelblattes mit dem inneren Keimblatt in Beziehung, und eine dritte Anschauung behauptete eine gewissermaßen selbständige Entstehung des Mittelblattes. Das letztere sollte danach als Ganzes aus dem Reste jener im

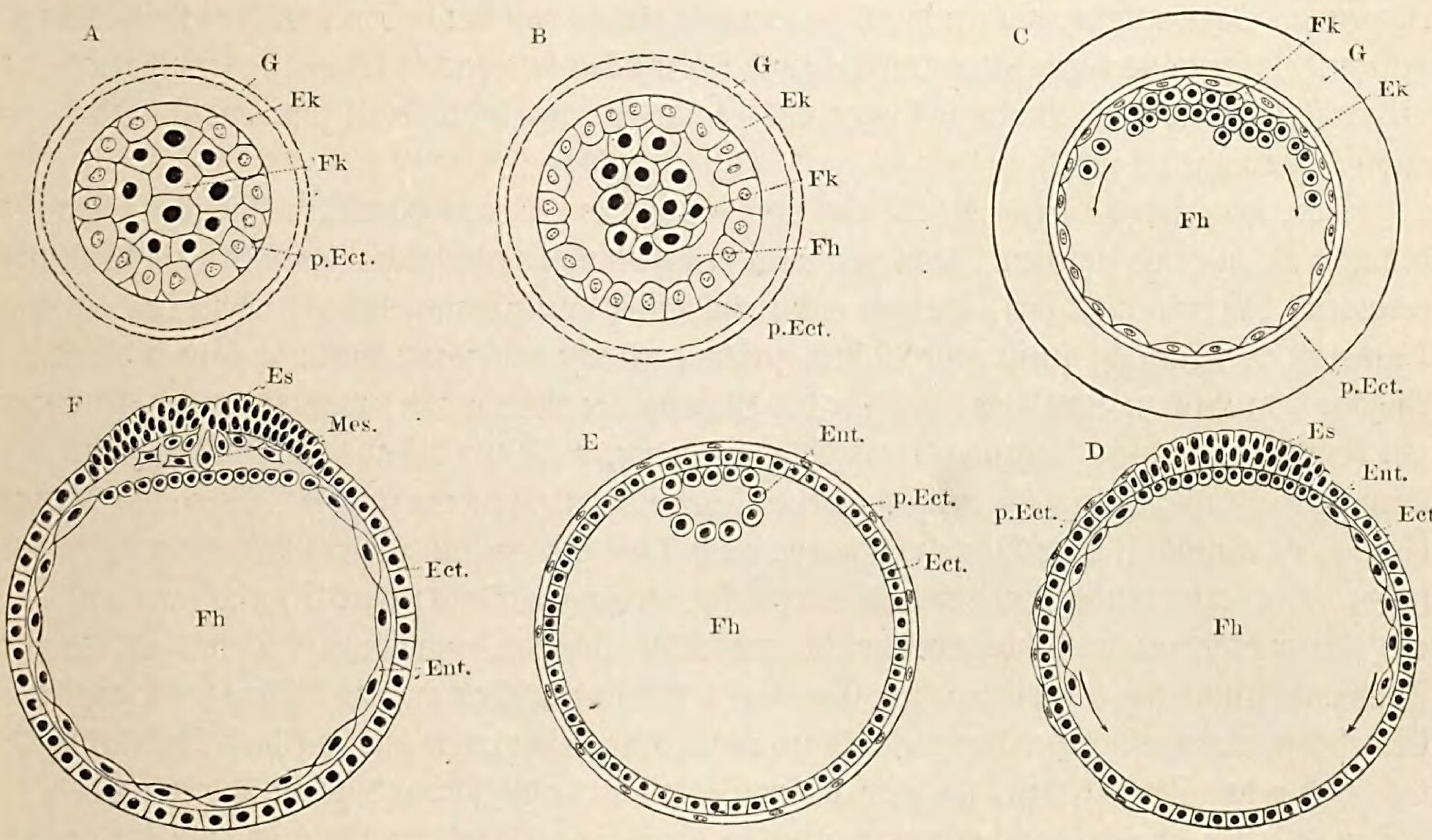
---

[1] Von der Beschreibung der „Rauberschen Deckschicht" wird hier Abstand genommen.

Fruchthof angelagerten Furchungszellen entstehen, welche nicht zur Bildung des Innenblattes und der ganzen Innenschicht der Keimblase verbraucht worden sind. Der unter dem ersten Keimblatt des Fruchthofes gelagerte Vorrat von noch unverbrauchten Furchungszellen, welcher anfänglich aus noch ziemlich ungeordneten größeren, mit einer amöbenähnlichen Beweglichkeit ausgestatteten, nackten Zellen besteht, bildet dieser Anschauung nach zunächst durch Zusammenlegen das untere Keimblatt im Umfange des Fruchthofes, wobei die Zellen die oben geschilderte abgeflachte Gestalt annehmen. Zwischen Innenblatt und Außenblatt bleiben aber (z. B. im bebrüteten Vogelei) noch zahlreiche unverbrauchte Furchungszellen übrig, und auch unter dem Innenblatt liegen noch freie Bildungszellen. Die letzteren beginnen nun, mit amöbenartigen Bewegungen über den Rand des noch nicht zur Blase geschlossenen unteren Keimblattes hinüberzukriechen und in den schon zahlreiche ähnliche Furchungszellen enthaltenden Zwischenraum zwischen Innen- und Außenblatt einzuwandern. Hier vermehren sich diese Zellen durch Teilung, und sie sollten sich endlich zu dem wahren Mittelblatt zusammenschließen, während das Innenblatt in seiner Fortsetzung als Innenschicht der Keimblase sein Wachstum vollendet. Derartige Beobachtungen wurden vorzüglich am Hühnchen gemacht, und es fragt sich, ob sie für alle Wirbeltierklassen ihre Geltung behaupteten. Immerhin gibt uns die Darstellung ein Bild von Vorgängen, welche sich bei der Keimblätterbildung eines Wirbeltieres abspielen, woraus wir wohl im allgemeinen abnehmen dürfen, daß stets von Anfang an nicht nur für das Außen- und Innenblatt, sondern für die drei in ihren physiologischen und formbildenden Aufgaben so verschiedenen Blätter eine wenigstens teilweise Sonderung jener Furchungszellen existiert, aus deren Vereinigung sich die Blätter bilden. Das mittlere Keimblatt sollte sich als Ganzes der eben gegebenen Darstellung nach zuletzt aus einem speziell ihm verbliebenen Rest von Furchungszellen organisieren, die weder dem oberen noch dem wahren unteren Keimblatt jemals angehört haben.

Die Frage nach der Entstehung des dritten Keimblattes ist auch heute nicht gelöst, und die Ansichten der selbständigen Forscher stehen sich noch unvermittelt gegenüber. Aber das scheint doch schon festzustehen, daß die Möglichkeit, so sehr verschiedene Ansichten über das Mittelblatt aufzustellen, teilweise darin begründet ist, daß dasselbe sowohl zum Teil aus dem ersten als aus dem zweiten Keimblatt als gemeinschaftliche Bildung entsteht, und daß auch ein wesentlicher Anteil desselben eine von Anfang an selbständige, von den beiden Keimblättern unabhängige Entstehung besitzt. Durch diese Anerkennung der Richtigkeit der drei sich scheinbar ausschließenden Bildungsverhältnisse sind diese letzteren jedoch im ganzen keineswegs aufgeklärt. Auf der einen Seite wurde ein reiches und wechselndes Material dafür beigebracht, daß die Keimblätter durch Einfaltung und Einstülpung, respektive Einwachsung aus der primär bläschenförmigen einschichtigen Keimblase in der Weise hervorgehen, daß sich zuerst eine zweischichtige, nur aus dem äußeren und inneren Keimblatt bestehende, mit einem an der Einstülpungsstelle bleibenden U r m u n d versehene Blase bildet, und daß dann erst die wesentliche Grundlage des dritten Keimblattes, des Mittelblattes, der Hauptsache nach durch Faltungen des Innenblattes gebildet werde. Dabei wird für gewisse Abkömmlinge des Mittelblattes, d. h. für die Bindesubstanzen: Knochen, Knorpel, Zwischenhäute und andere, auch für das Blut, eine gewissermaßen selbständige Anlage etwa in der oben geschilderten Weise der Einwanderung von Zellen zwischen die beiden p r i m ä r e n K e i m b l ä t t e r, das äußere und das innere, postuliert. Den beiden primären Keimblättern gegenüber erscheint danach das mittlere Keimblatt als eine erst s e k u n d ä r e, jedenfalls jenen beiden in der Anlage nicht gleichwertige Bildung. Diese Anschauungen haben insofern etwas besonders Verlockendes, als sie, im Prinzip gewiß mit vollstem Recht, d a s a l l g e m e i n e E n t w i c k e l u n g s g e s e t z i m K ö r p e r b a u d e r a n i m a l e n O r g a n i s m e n auch noch für Entwickelungsstufen konstatieren, in welchen sonst eine unüberbrückte klaffende Lücke zu bestehen scheint zwischen dem Entwickelungsmodus der niedrigeren und der höchsten

tierischen Wesen. Wir kommen unten noch einmal auf diese Angelegenheit zurück, welche namentlich für die Säugetiere und den Menschen noch keineswegs allgemein in ähnlicher Weise entschieden wird. Auf dem zweiten Flügel der Forscher, auf welchem zum Teil gerade diejenigen stehen, die sich speziell mit der Entwickelungsgeschichte der Säugetiere mit Benutzung der neuesten Fortschritte in der Technik dieser außerordentlich schwierigen Untersuchungen befassen, hält man insofern noch an der älteren Lehre fest, als bei der Bildung der Keimblätter im wesentlichen Spaltungserscheinungen anerkannt werden. R. Bonnet z. B., welcher sich in der allerneuesten Zeit mit besonderem Erfolg den Studien über die Entwickelung der Säugetiere gewidmet hat, bringt diese letzteren Anschauungen in klarer und entschiedener Weise zur Darstellung.



Schema der Entwickelung eines Kaninchen-Eies. (Nach Bonnett.)

A) und B) Kaninchen-Ei unmittelbar nach der Furchung, C) dasselbe 70—90 Stunden nach der Befruchtung, D) weitere Ausbildung der Keimschichten des Kaninchen-Eies. E) Schema der Entoblastbildung, F) Schema des dreischichtigen Säugetierkeimes. G) Gallertschicht, Ek) Eikapsel, Fk) Furchungskugelrest, Fh) Furchungshöhle, p.Ect.) primäres Ektoblast, Es) Embryonalschild, Ent.) Entoblast, Ect.) Keimblasenektoblast, sekundäres Ektoblast, Mes.) Mesoblast.

Unter einem **Keimblatt** oder einer **Keimschicht** versteht **Bonnet** die flächenhafte Anordnung embryonaler Zellen zur hautartigen Begrenzung der Ober-, respektive Innenfläche des Embryos und seiner Anhänge: das **äußere Keimblatt, Außenkeim, Ektoblast**, das **innere Keimblatt, Innenkeim, Entoblast** und das **mittlere Keimblatt, Mittelkeim, Mesoblast**. Ektoblast und Entoblast sind die **primären Keimblätter**, zwischen ihnen entsteht erst später noch das mittlere als **sekundäres Keimblatt**. Die Entstehung der primären Keimblätter muß man sich, sagt **Bonnet**, in der Weise vorstellen, daß der die Anlage des Fruchthofes, den **Embryonalfleck**, bildende Furchungszellenrest sich in zwei übereinander liegende Platten spaltet, nämlich 1) in eine einschichtige, becherförmig an der Innenfläche der Eihüllen bis zum vegetativen Pol verwachsende (Fig. D) und dort sich zur Hohlkugel abschließende epitheliale Zelltapete, deren Zellen sich im Bereich des Embryonalfleckes allmählich zu schlanken Cylindern umgestalten und eine einfach (Kaninchen, Raubtiere) oder mehrfach (Wiederkäuer) geschichtete, kreisrunde, nabelförmig vorspringende Verdickung, die **erste Anlage des Embryos, den Embryonalschild** formieren: **das äußere Keimblatt**. 2) Der an der Innenfläche des äußeren Keimblattes

gelegene Furchungskugelrest (Fig. A, B, C, S. 125) wächst dann entweder, wie z. B. beim Kaninchen, in Gestalt einer zweiten Zelltapete mit freien Rändern, wie das erste Keimblatt becherförmig (Fig. C in der Richtung der beiden Pfeile) bis zum vegetativen Pol vor und schließt sich hier zu einer vom äußeren Keimblatt umschlossenen Hohlkugel ab, oder es entsteht, wie z. B. beim Igel, in dem nach Bildung des äußeren Keimblattes noch übrigen Furchungskugelrest eine zentrale Höhle (Fig. E). Durch Vergrößerung dieser Höhle und Vermehrung der ihre Wand bildenden Zellen wird eine Blase gebildet, die sich schließlich mit einschichtiger Wand der Innenfläche des äußeren Keimblattes anlegen muß, in beiden Fällen heißt diese dem äußeren Keimblatt innen anliegende Schicht: inneres Keimblatt. 3) Zwischen beiden entsteht in der Embryonalanlage und deren nächster Umgebung das mittlere Keimblatt (Fig. F). Hier handelt es sich, nach Bonnets Erfahrungen am Schafembryo, um ein durch Zellenausschaltung von den beiden primären Keimblättern geliefertes, zuerst aus vereinzelten Spindel- und Sternzellen bestehendes Übergangsgewebe, welches in der Folge sowohl die Bindesubstanzen als die übrigen dem Mittelblatt zufallenden Bildungen aus sich hervorgehen läßt.

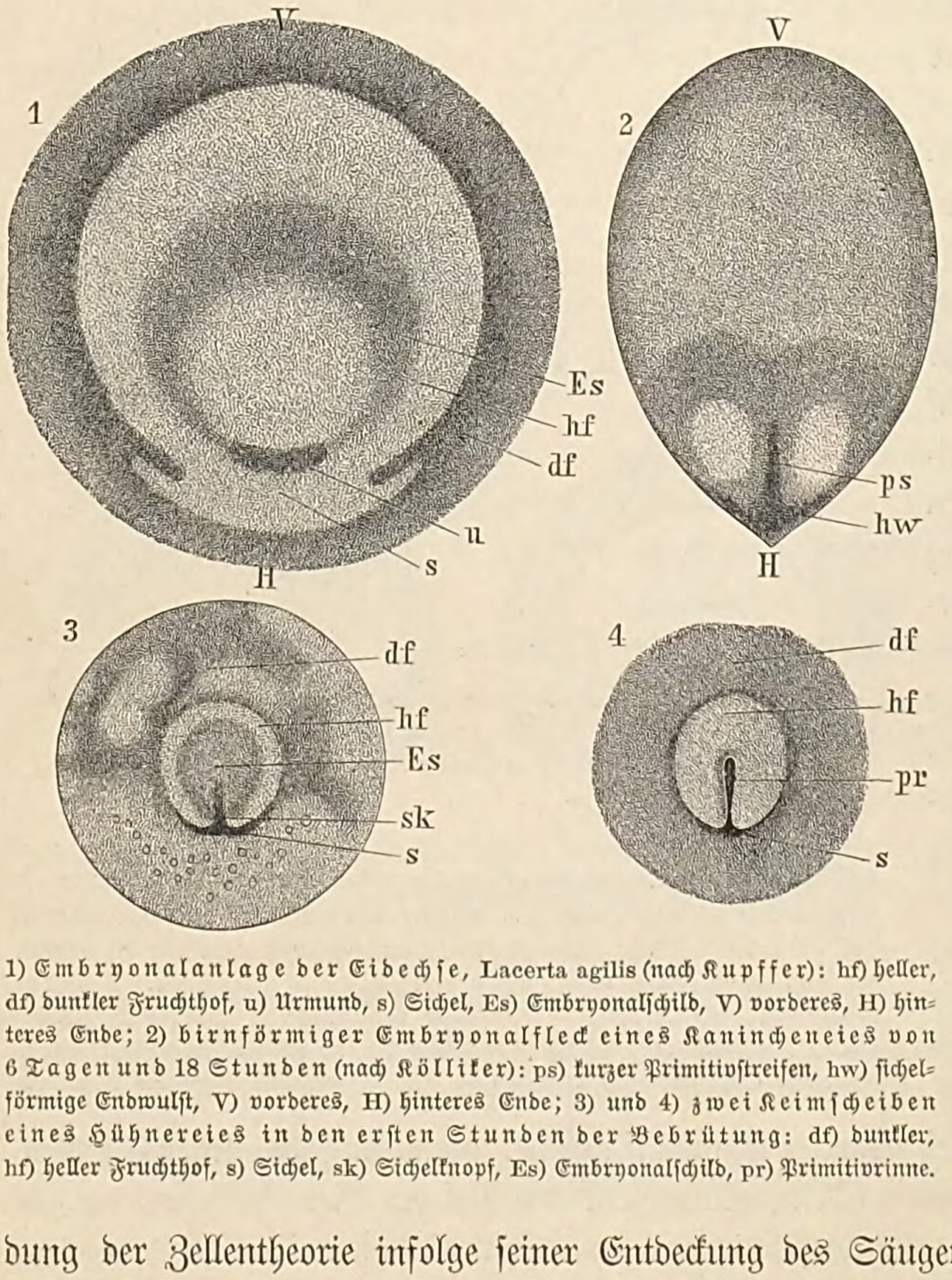
Aber keineswegs dürfen wir die eine oder die andere der eben gemachten Angaben schon für definitiv abschließend ansehen. Nicht nur wird mehrfach von vortrefflichen Forschern die Meinung vertreten, daß wir nicht drei, sondern vier Keimblätter anzuerkennen haben, wobei das mittlere Keimblatt von Anfang an in zwei Blätter getrennt gedacht wird; wir haben auch noch die ältere Angabe von His zu erwähnen, daß für die Bildung der Keimblätter, wenigstens bei den Eiern mit deutlich getrenntem Nahrungs- und Bildungsdotter, nicht nur die aus der Furchung des letzteren, des eigentlichen Eies, hervorgegangenen Formelemente, sondern für die Bildung des Mittelblattes, namentlich für die Bindesubstanzen, auch Teile des weißen Dotters Verwendung finden sollen. Der letztere entsteht als eine sekundäre Auflagerung auf das wahre Ei, und zwar aus den dasselbe umlagernden Bindegewebszellen des mütterlichen Organismus. Damit würde der Fundamentalunterschied zwischen den Geweben des Körpers schon auf die Bildungsgeschichte des Eies selbst zurückgeführt und in dieser begründet. Wir beschränken uns auf diese Andeutungen, welche nur den Zweck haben, auch an dieser Stelle die mannigfachen dunkeln Punkte nicht vergessen zu lassen, welche das sonst wenigstens in der Skizze vollendet erscheinende Bild der ersten Entwickelung der Frucht noch trüben.

Die Beobachtungen Remaks lehrten zuerst, namentlich im Anschluß an die Ergebnisse der Wolff-Pander-Baerschen Untersuchungen, die Organe näher kennen, welche aus den einzelnen Keimblättern in den späteren Bildungsstadien der Frucht hervorgehen. Wir bezeichnen, wie schon bemerkt, mit ihm das erste Keimblatt, das Außenblatt oder Ektoderm, als Hautsinnesblatt. Aus diesem entstehen das gesamte Nervensystem, Rückenmark, Gehirn und Sympathikus mit dem Stützgewebe der ersteren, der Neuroglia, dann die eigentlich nervösen Teile der höheren Sinnesorgane: des Auges mit seiner Linse und ihrer Kapsel, des Ohres, Geschmacks- und Geruchsorganes, die Nerven (entweder ganz oder teilweise) und die ganze Oberhaut des Körpers, die Epidermis, mit den Zellen ihrer Drüsen, den Brustdrüsen, den Schweiß- und Talgdrüsen, einschließlich ihrer glatten Muskelfasern, mit den Haaren und Nägeln, dem Zahnschmelz und anderem. Das dritte oder Innenblatt, das Entoderm, erhielt den Namen Darmdrüsenblatt. Aus ihm gehen die Hauptorgane der vegetativen Drüsenthätigkeit hervor: die gesamten inneren Zellenschichten, das Epithel des Verdauungsschlauches und der Drüsen, dann von den großen drüsigen Organen (von Lunge, Leber, Pankreas, vielleicht auch Nieren) jene Zellenauskleidungen und Zellenmassen, welche den speziellen vegetativen Prozessen dieser Körperteile vorzustehen haben, das Epithel der Harnblase und anderes. Das zweite, mittlere Blatt, das Mesoderm, liefert vor allem die gesamte Bindesubstanz des Körpers, d. h. die Bewegungs-, Stütz- und Gerüsteinrichtungen, welcher die aus den

beiden erstgenannten Keimblättern entstehenden Organe zu ihrem Ausbau bedürfen, so daß die vom Außen- oder Innenblatt abstammenden fertigen Organe alle aus Teilen bestehen, welche aus je zwei Blättern abgeleitet werden müssen. Den wesentlich und spezifisch funktionell arbeitenden Anteil der betreffenden Organe liefert entweder das innere oder das äußere Keimblatt, während das mittlere Keimblatt, respektive dessen Bindegewebs-Blutkeim ihnen Form, Halt und Bewegung sowie den notwendigen Zusammenhang mit dem Gesamtkörper gewährt. Aber auch eine Reihe funktionell ganz spezifisch thätiger Organe und Organsysteme geht aus dem mittleren Keimblatt direkt hervor, wonach es den Namen „motorisch-germinatives" Blatt, d. h. Bewegungs- und keimbereitendes Blatt, erhalten hat. Aus dem Mittelblatt entwickeln sich von bleibenden Organen sonach außer den gesamten Organen der Blutphysiologie mit den Lymphorganen auch die Hauptapparate der willkürlichen und unwillkürlichen Bewegung: alle quergestreiften und die Mehrzahl der glatten Muskeln, Knochen, Zahnbein, Knorpel, Sehnen und alle jene der Mehrzahl nach Blutgefäße enthaltenden hautartigen Gerüstbildungen mit dem Fettgewebe, welche die Organe des Körpers formen, denselben den Halt erteilen und sie mit den übrigen Körperteilen verbinden; dann durch Spaltungen in ihm die Brustbauchhöhle, die Gelenkhöhlen, Schleimbeutel, Zwischenräume der Gehirnhäute mit ihren Zellauskleidungen und anderes. Außerdem entstehen aus dem Mittelblatt auch die keimbereitenden Organe.

Die neueren entwickelungsgeschichtlichen Einzelbeobachtungen haben keineswegs genügend Grund ergeben, an diesen physiologischen Hauptergebnissen der ersten bahnbrechenden Entdeckungen zu rütteln. Die physiologische Bedeutung des Innenblattes als Darmdrüsenblatt wurde nur fester und in allen Einzelheiten begründet; ebensowenig konnte die Bedeutung des Außenblattes als Hautsinnesblatt beeinträchtigt werden. Bei dem Meerschweinchen liegen zwar, wie schon angegeben, die Blätter in umgekehrter Ordnung; aber die Fruchtanlage ist, wie Kupffer lehrte, nur mechanisch umgestülpt, die Entwickelung verläuft sonst ohne wesentliche Differenzen wie bei den übrigen höheren Wirbeltieren. Größere Schwierigkeiten macht nur das Mittelblatt durch die Verschiedenartigkeit der aus ihm hervorgehenden Bildungen sowohl nach Form als nach Thätigkeit. Halten wir zunächst noch an dem Satze fest, daß die in dem Furchungsprozeß entstehenden Teilungsprodukte des Eiprotoplasmas zunächst in der Hauptsache nach Form- und Thätigkeitsvermögen gleichwertig sind, so liegt in ihnen (gleichsam den verkleinerten Eiern) wie in dem noch ungeteilten Ei selbst, der Fähigkeit nach, sowohl die Möglichkeit zu Thätigkeitsäußerungen nach den verschiedenen vom Gesamtorganismus geforderten Richtungen als zur Umbildung und Formung in dessen verschiedene Gewebs- und Organelemente. Zunächst beschränken die zur Zellengruppe des Außenblattes zusammentretenden, später die zum Innenblatt sich vereinigenden Furchungszellen diese ihre allgemeine Fähigkeit in bestimmten Beziehungen. Den sich zum Mittelblatt verbindenden Elementarorganismen bleibt dagegen ihr freies, selbständiges Leben, wir können sagen, ihr Eicharakter zum Teil ganz oder wenigstens großenteils gewahrt, und nur in geringerem Maße, als das bei den Zellen der beiden zuerst entstehenden Blätter der Fall ist, sehen wir sie in der Folge sich zu Geweben gruppieren, welche mit den Bildungen des Innenblattes wie des Außenblattes unverkennbare Ähnlichkeiten aufweisen. Die farblosen Blutzellen und die Wanderzellen, die zu amöbenartigen Bewegungen befähigten Protoplasmakörper der Bindegewebe, die Muskelzellen und Muskelfasern, welche ihr selbständiges Einzelleben innerhalb der Gesamtheit fortwährend dokumentieren, vor allen aber die Zellen der keimbereitenden Organe, welche die volle Potenz des Eies sich erhalten haben, rechtfertigen diese Aufstellung. Wir haben in den Elementarorganismen des Mittelblattes sonach ein Bildungsmaterial, welches, zunächst gleichsam noch indifferent, entweder, namentlich in der näheren Verbindung mit den beiden Urorganen des Außen- und Innenblattes, seine Selbständigkeit bis zu einem gewissen Grade zur Hervorbringung spezifischer Gewebe und

primären Keimblätter vollzog, eine hohe Bedeutung. Das ist die Ursache, warum so viele Mühe und Sorgfalt darauf verwendet wurde, den Urmund auch in den ersten Bildungsstadien der höheren und höchsten Wirbeltiere nachzuweisen. Nur noch bei den Amphibien, besonders gut beobachtet bei dem Wassersalamander, Triton, entsprechen jedoch die Verhältnisse den bei Amphioxus beobachteten näher, wie die Abbildungen (S. 127, Fig. C u. D) lehren; bei allen anderen erscheint die Urmundbildung und der Urmund selbst wesentlich umgestaltet. Immerhin ist es namentlich Kupffer und seinen Schülern und anderen gelungen, nachzuweisen, daß ein Urmund, respektive eine ihm entsprechende Stelle, von welcher aus die Einstülpung oder Einwachsung des primären Innenblattes ausgeht, in Form einer queren oder längsgerichteten Spalte oder Rinne auch bei den höchsten Wirbeltieren existiert.



1) Embryonalanlage der Eidechse, Lacerta agilis (nach Kupffer): hf) heller, df) dunkler Fruchthof, u) Urmund, s) Sichel, Es) Embryonalschild, V) vorderes, H) hinteres Ende; 2) birnförmiger Embryonalfleck eines Kanincheneies von 6 Tagen und 18 Stunden (nach Kölliker): ps) kurzer Primitivstreifen, hw) sichelförmige Endwulst, V) vorderes, H) hinteres Ende; 3) und 4) zwei Keimscheiben eines Hühnereies in den ersten Stunden der Bebrütung: df) dunkler, hf) heller Fruchthof, s) Sichel, sk) Sichelknopf, Es) Embryonalschild, pr) Primitivrinne.

Die nebenstehende Figur 1 zeigt den Urmund der Eidechse, beim Hühnerei ist es die sogenannte Sichel (Fig. 3 u. 4), bei den Säugetieren der Primitivstreifen und die Primitivrinne (Fig. 2). Die Figuren 1 u. 2 zeigen nach Kupffer, wie der zuerst querverlaufende Spalt des Urmundes sich in einen längsgerichteten umwandelt, entsprechend der Richtung der Primitivrinne der Säugetiere.

Noch sind die Anschauungen nicht vollkommen abgeklärt, aber jede neue Entdeckung bringt auch neue Belege dafür, daß ein allgemein gültiges Bildungsgesetz die Entwickelung der höchsten wie der niedersten animalen Organismen beherrscht. Dieses allgemeine Gesetz der Entwickelung der animalen Organismen hat K. E. v. Baer schon zehn Jahre vor der Begründung der Zellentheorie infolge seiner Entdeckung des Säugetier- und Menschen-Eies in geistvoller Weise im Prinzip richtig zu formulieren versucht: Je weiter wir in der Entwickelung zurückgehen, desto mehr finden wir auch in sehr verschiedenen Tieren eine Übereinstimmung. Wir werden hierdurch zu der Frage geführt, ob nicht im Beginn ihrer Entwickelung alle Tiere im wesentlichen sich gleich sind, und ob nicht für alle eine gemeinschaftliche Urform besteht? Da der Keim das unausgebildete Tier selbst ist, so kann man nicht ohne Grund behaupten, daß die einfache Blasenform die gemeinsame Grundform ist, aus der sich alle Tiere nicht nur der Idee nach, sondern historisch entwickeln. Wir brauchen in diesen Lehrsatz des großen Meisters nur für „einfache Blasenform“, worunter er im Grunde das von ihm entdeckte Säugetier-Ei versteht, das Wort Zelle oder Keimzelle einzusetzen, so können wir diesen Satz noch heutigestags unterschreiben.

Schematische Längs- und Querdurchschnitte durch den Menschenkörper.

Gelb: Die Oberhaut, Rückenmark und Gehirn, Geschmacks- und Geruchsorgane.
Rot: Muskeln (Fleisch), Knochen und die übrigen Bindegewebsbildungen zur Stütze der Organe.
Blau: Die Innenpartien der dem Ernährungsprozess dienenden Organe.

Fig. 1. Längsschnitt durch einen erwachsenen weiblichen Körper; die Organe sind nur ganz schematisch dargestellt, um ihre Zusammensetzung aus den drei Keimblättern zu zeigen.

Gelb: Die aus dem obern Keimblatt entstandenen Organe.
Rot: Die aus dem mittlern Keimblatt entstandenen Organe.
Blau: Die aus dem innern Keimblatt entstandenen Organe.

Fig. 2. Längsschnitt durch eine menschliche Frucht, etwa in der fünften Entwickelungswoche. Die Farben sind wie in Fig. 1 gewählt.

Fig. 3. 4. 5. Ganz schematische Querschnitte durch die Anlage des Menschenkörpers in verschiedenen Entwickelungsstadien. Die Farben wie in Fig. 1 und 2. Gelb: erstes Blatt; rot: zweites Blatt; blau: drittes Blatt.

Fig. 3 zeigt die drei Röhren: Rückenmarksrohr, Darmrohr und Brust-Bauchhöhle noch als offene, rinnenförmige Bildungen.

Fig. 4. Das Rückenmarksrohr ist geschlossen; die beiden andern Röhren: Darmrohr und Brust-Bauchhöhle, sind noch offen, doch neigen sich ihre Ränder zur Verwachsung.

Fig. 5. Alle drei Röhren geschlossen.

Fig. 1.

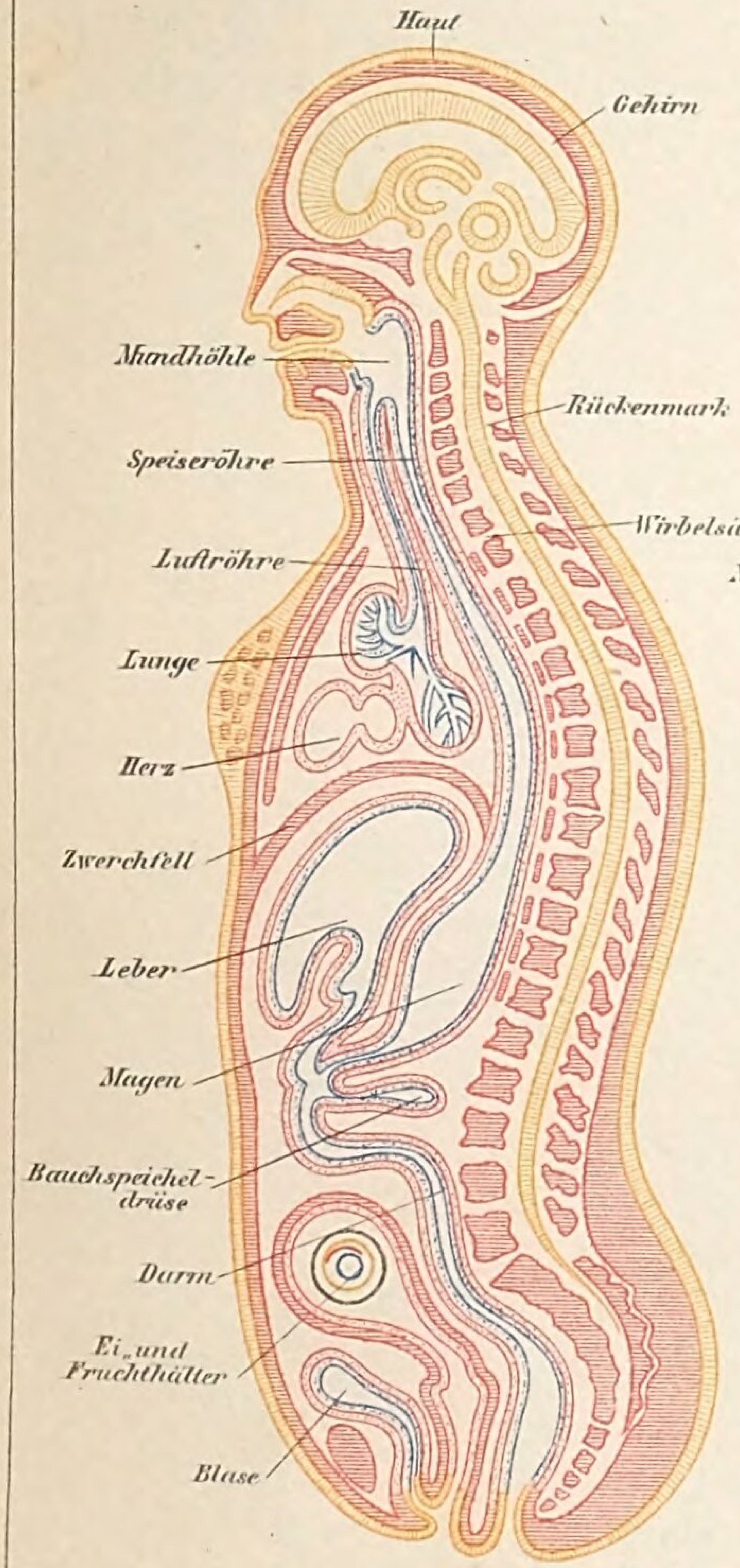


Fig. 2.

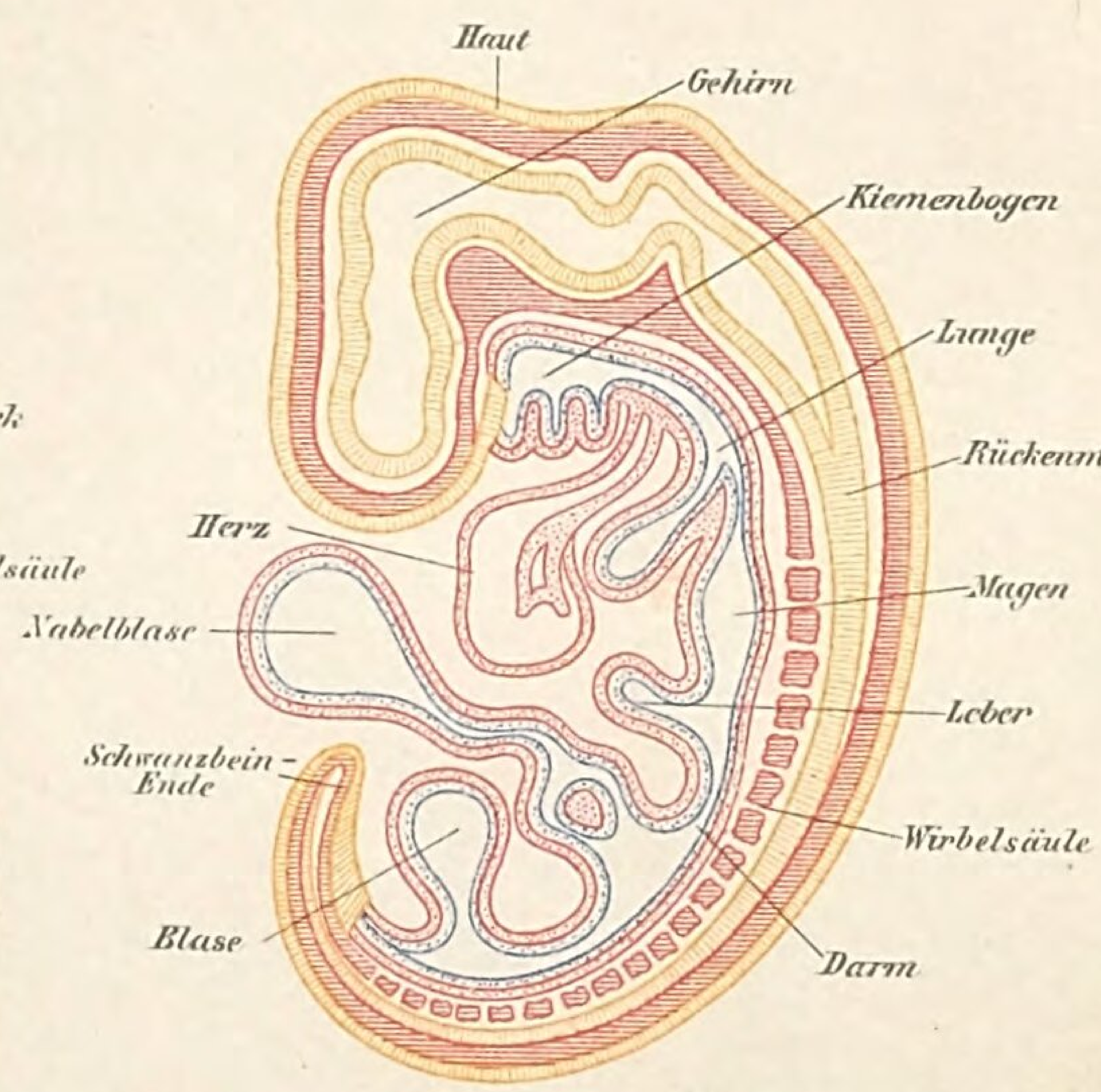


Fig. 3.

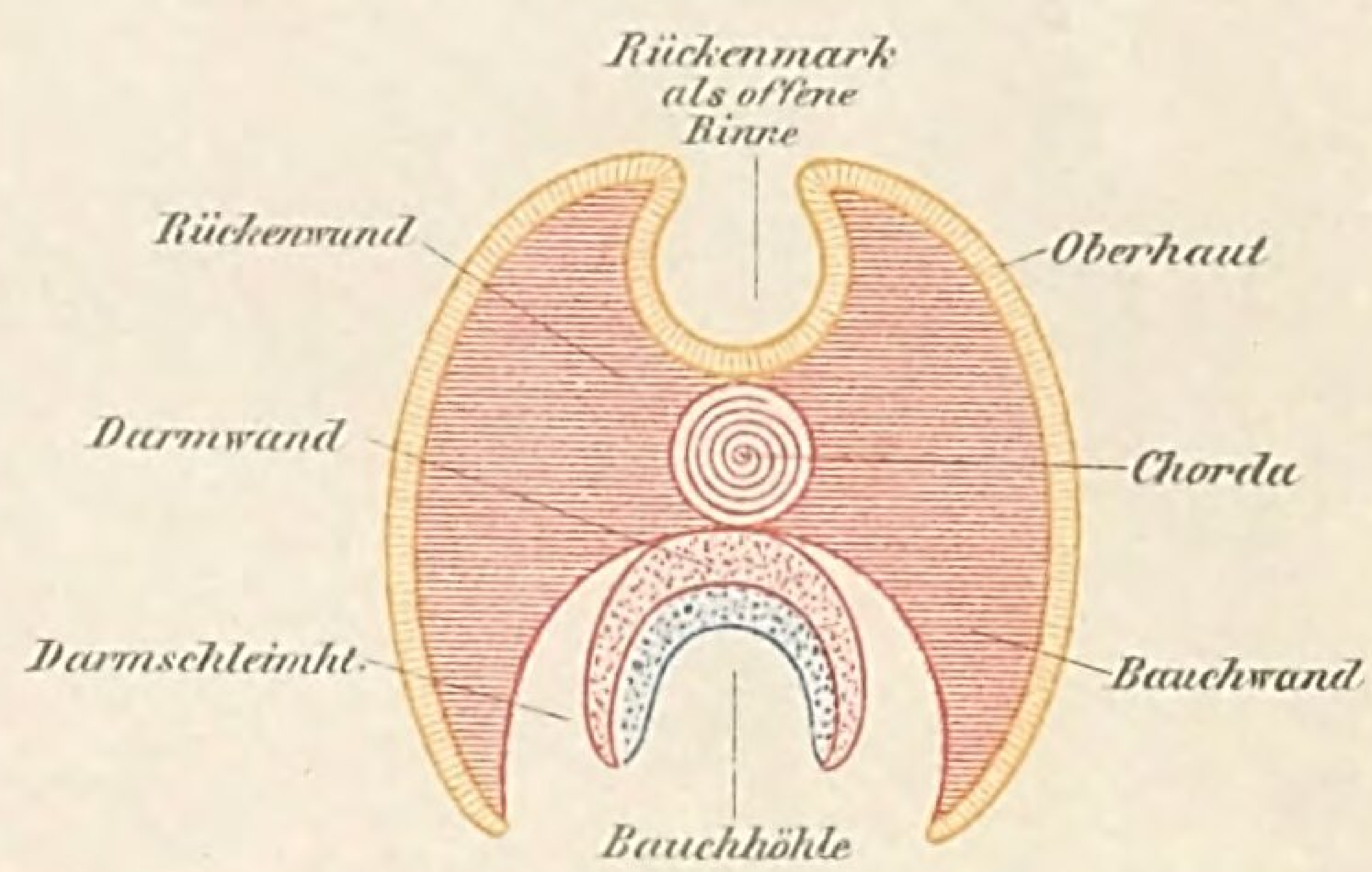


Fig. 5.

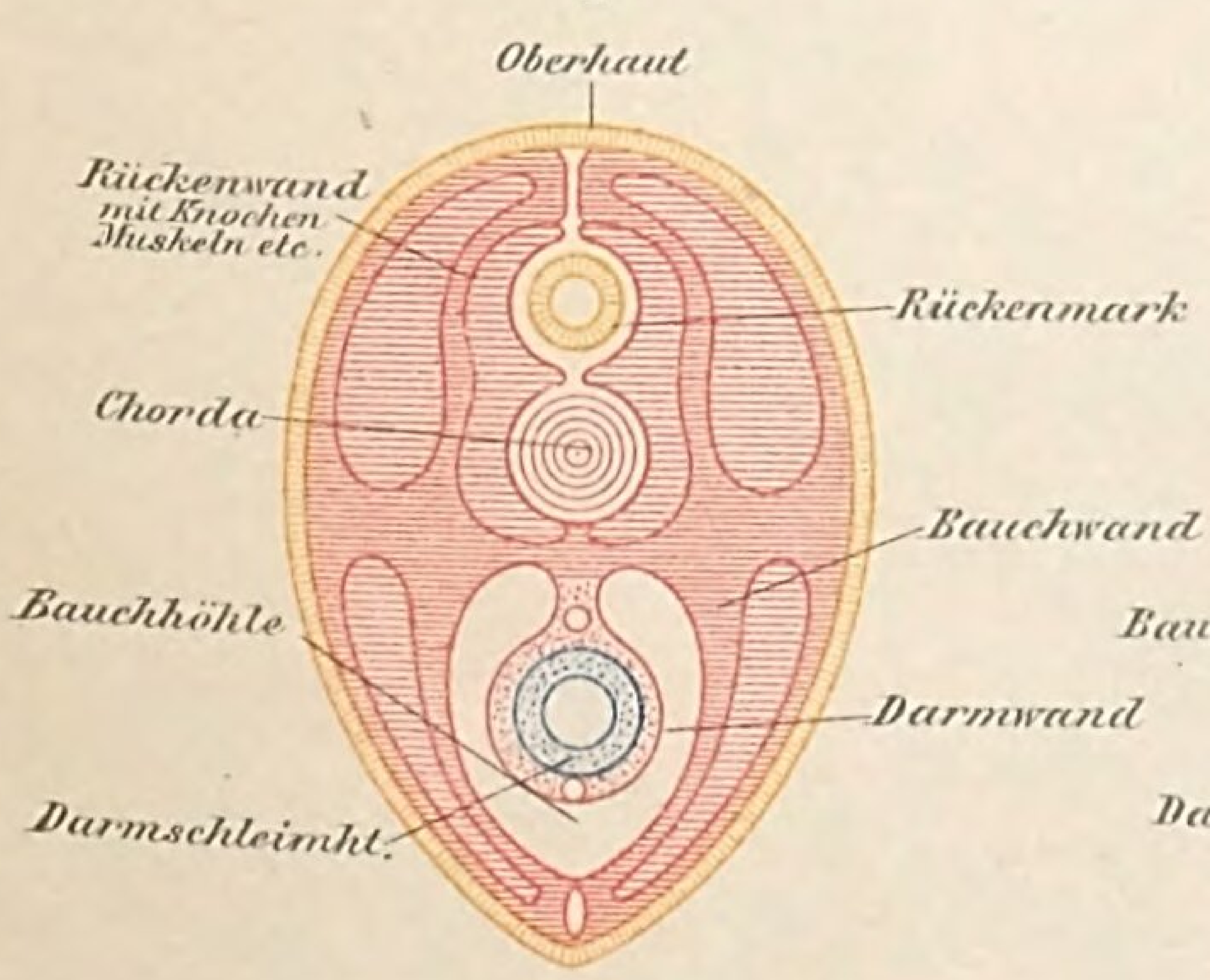
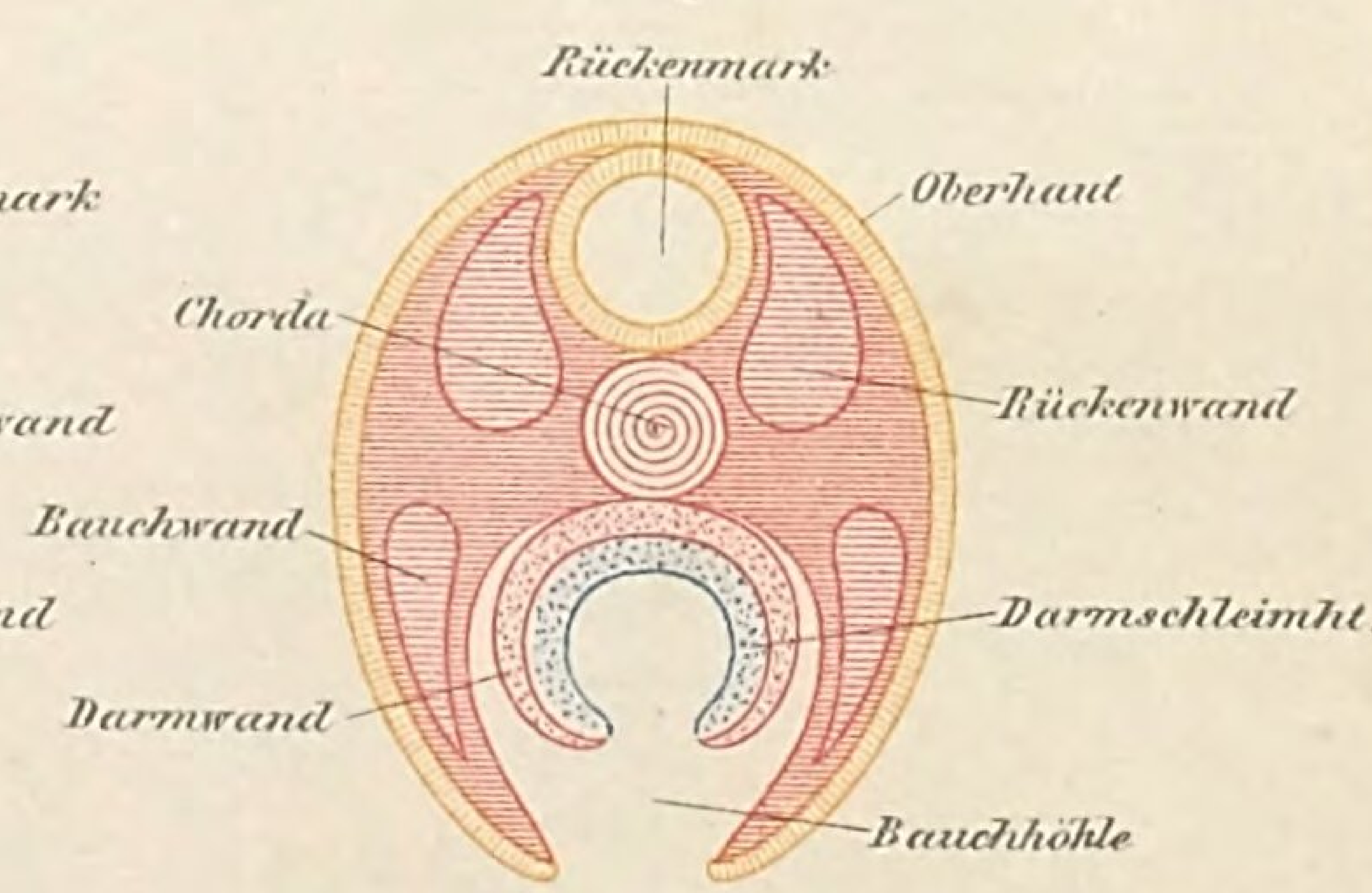


Fig. 4.



Schematische Längs- und Querschnitte durch den Menschenkörper.

4. Die Formung der Fruchtanlage zur fertigen Körpergestalt.

Inhalt: Schema der menschlichen Leibesform. — Der Fruchthof und die in ihm stattfindenden Bildungsvorgänge. — Entstehung der plastischen Körperform aus der flächenhaften Anlage. — Äußere Gliederung des Fruchtkörpers. — Die Eihäute und der erste Kreislauf des Blutes. — Ähnlichkeit und Unähnlichkeit der sich entwickelnden Wirbeltiere. — Stufenfolge der Körperentwickelung beim Menschen.

Schema der menschlichen Leibesform.

Für denjenigen, dem es nicht vergönnt ist, praktische anatomische Studien über den Körperbau des Menschen anzustellen, ist es sehr zweckmäßig, zur Anbahnung eines Verständnisses über den Menschenkörper dem Aufbrechen und Zergliedern geschlachteter Tiere zuzusehen. Cartesius, der berühmteste Naturphilosoph seiner Zeit, machte z. B. seine Studien über das Herz und die Blutbewegung, die so wesentlich dazu beigetragen haben, die große Entdeckung W. Harveys vom Blutkreislauf in Deutschland und Frankreich rasch einzubürgern, an geschlachteten Schweinen. Aber jedes Huhn, jede Taube zeigt uns in den Hauptgrundzügen die anatomischen Einrichtungen des höheren Wirbeltierkörpers und stellt uns Verhältnisse vor die Augen, welche jenen am und im Menschenkörper gegebenen in hohem Grade ähnlich sind. An die allgemeinen Grundzüge seines Baues haben wir uns nun zum Verständnis der Entwickelungsgeschichte zunächst zu erinnern.

Die äußere Haut umhüllt die gesamte Außenfläche des animalen Körpers, und zwar unterscheiden wir an ihr zunächst die feine Oberhaut (es ist das jenes Gebilde, welches sich z. B. unter der Wirkung eines Blasenpflasters abhebt) und eine dickere Schicht, der Hauptmasse nach aus Bindegewebe bestehend, aber auch organische Muskelfasern und anderes einschließend, die Lederhaut. Wird die ganze Haut durchschnitten, so folgt auf sie die Schicht des Fleisches (Muskeln), in welche, an verschiedenen Stellen mehr oder weniger reichlich, häutiges oder starres Binde- und Stützgewebe mit Knorpeln und Knochen, außerdem Blutgefäße, Nerven, Fett ꝛc. an- und eingelagert sind. Arme und Beine bestehen nur aus diesen eben genannten Schichten. Dagegen umschließen dieselben Schichten in Brust und Unterleib, d. h. also am ganzen Körperstamm oder Rumpf, einen weiten Hohlraum, die Brust-Bauchhöhle, in deren Innerem die lebenswichtigen Organe geborgen sind, welche wir in ihrer Gesamtheit als Eingeweide bezeichnen, und unter welchen jene, die der Verdauung und Ernährung dienen, weitaus die Hauptmasse ausmachen. Öffnen wir die Brust-Bauchhöhle und entfernen daraus die Eingeweide, so erscheint der ganze Körperstamm nur noch als eine Art leerer Schale, aus der man den Kern, die Eingeweide, herausgenommen hat. Sehen wir von den Armen und Beinen ab, so bildet der Körperstamm, der Rumpf, also einen langgestreckten, röhrenförmigen Hohlraum, eine Art von Röhre, die äußere Leibesröhre, welche die Eingeweide in sich faßt (s. Tafel „Schematische Längs- und Querschnitte durch den Menschenkörper").

Die Eingeweide selbst erscheinen nun wieder der Hauptsache nach ebenfalls als eine (in Wirklichkeit mehrfach verzweigte) Röhre, welche die ganze Länge der Brust-Bauchhöhle von oben bis unten durchsetzt. Diese Röhre ist das Verdauungsrohr, die innere Leibesröhre. Sehen wir von den zahlreichen Krümmungen ab, in welchen sich das Verdauungsrohr in der Bauchhöhle gleichsam zusammenknäuelt, und denken wir es uns in der Bauchhöhle in ähnlicher Weise gestreckt verlaufen, wie es in Wirklichkeit die Brusthöhle durchsetzt, so ist das gegenseitige Verhältnis der beiden Röhren, der äußeren, von Haut, Fleisch, Knochen der Brust-Bauchwand gebildeten, und der inneren, das Verdauungsrohr darstellenden, ein höchst einfaches.

Die innere Leibesröhre, das Verdauungsrohr, öffnet sich in den Nasen-Mundraum. Von hier verläuft sie als Speiseröhre durch die Brusthöhle und erweitert sich in der von der Brusthöhle durch die Scheidewand des Zwerchfelles geschiedenen Bauchhöhle sofort zu dem Magen. Vom Magen aus verläuft sie dann als Darm (in zahlreichen Windungen) zur unteren Leibesöffnung. Denken wir uns das innere Leibesrohr, wie gesagt, vollkommen gestreckt, so erscheint der Körperstamm als eine Doppelröhre. Die äußere, viel weitere Röhre wird von der Rumpfwand mit Haut, Bindegewebe, Knochen, Fleisch ꝛc. gebildet. Die innere, das Verdauungsrohr, ist viel enger und dünnwandiger als die erste, in welche sie gleichsam eingeschachtelt ist.

Das Verdauungsrohr besteht aus zwei wohl zu unterscheidenden Schichten. Die innere Schicht bildet die Drüsen- oder Schleimhaut des Verdauungsrohres, auf deren Thätigkeit die chemisch-physiologischen Vorgänge beruhen, welche der Verdauung, Blutbildung, teilweise der Ausscheidung dienen. Die äußere Schicht ist die stützende und bewegende Hülle, welche, mit der Drüsenhaut verwachsen, diese überkleidet und, ähnlich wie die viel mächtigere, unter der äußeren Körperhaut gelegene Schicht der Brust-Bauchhöhlenwand, aus Muskelfasern, Stütz- und Bindegewebe (aber nur von der häutigen Form) besteht. Die innere Leibesröhre verläuft aber nicht frei durch den von der äußeren Leibesröhre gebildeten weiten Hohlraum der Brust-Bauchhöhle, sondern sie ist mit der inneren Rückenseite desselben durch häutige Gebilde vereinigt, welche in der Leibeshöhle, wo sie besonders reichlich entwickelt sind, als Gekröse bezeichnet werden. Mit anderen Worten: von der inneren Rückenseite des äußeren Leibesrohres aus schlägt sich ein Teil der letzteren, vorwiegend aus häutigem Bindegewebe und Muskelfasern bestehend, als Schutz- und Bewegungshülle um das innere Leibesrohr.

Wie schon angedeutet, verzweigt sich das innere Leibesrohr bei dem Menschen und bei allen höheren Wirbeltieren mehrfach. Das Verständnis der Zugehörigkeit dieser Abzweigungen zu dem Leibesrohr wird bei dem Erwachsenen durch die massige und selbständige Entwickelung der abgezweigten Organe der großen Drüsen: Lunge, Leber, Pankreas, und zum Teil der Harnwege wesentlich erschwert. Bei der ersten Ausbildung des Körpers bildet aber das innere Leibesrohr, wie wir es uns bisher schematisch gedacht haben, wirklich eine gestreckte Röhre, an welcher, zunächst nur als sehr unscheinbare, sackartig-hohle Ausbuchtungen, jene genannten Organe angedeutet erscheinen. Wie das Verdauungsrohr selbst, so bestehen auch alle jene durch Ausbuchtung aus ihm sich bildenden Hilfsorgane aus den zwei in ihrer Thätigkeit wie in ihrem Bau unterschiedenen Schichten, aus der inneren, der Drüsenhaut des Verdauungsrohres entsprechenden, und aus der äußeren, mit dem äußeren Leibesrohr zusammenhängenden, welche ihnen Stütze und teilweise Bewegung gewährt. Die Organe der Blutbewegung mit dem Herzen, die Nieren mit den Generationsorganen treten als selbständige Bildungen an der inneren Fläche der Brust-Bauchwandung unabhängig von dem Verdauungsrohr auf, mit dem sich die beiden letzteren jedoch schon früh in eine zeitweilige offene Verbindung setzen.

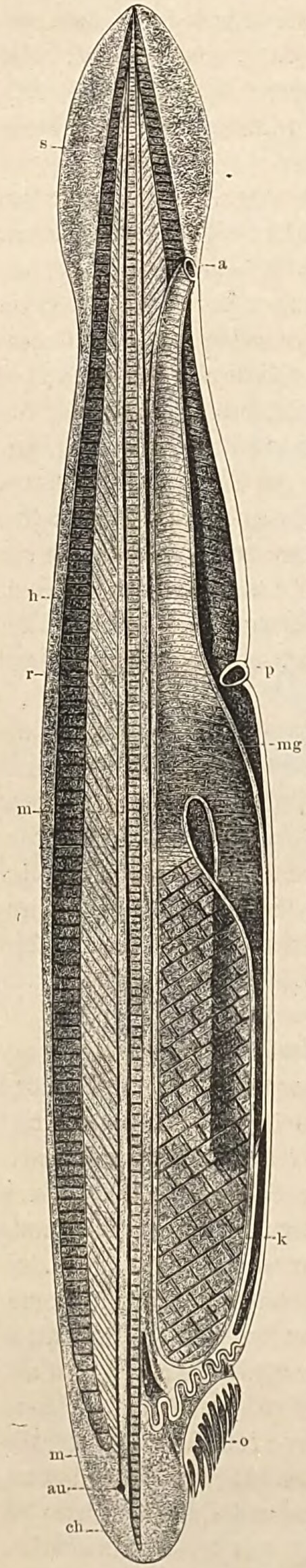
Wir haben bisher die äußere Leibeswand nur als Wand der Brust-Bauchhöhle und damit als ein einheitliches Röhrengebilde betrachtet, welches das Verdauungsrohr umschließt. Trennen wir aber in der Mittellinie den Rücken des Stammes von außen nach innen der Länge nach, so öffnen wir damit eine zweite innere Röhre, welche, am Rücken als Rückgratshöhle ziemlich eng, am Kopfe sich zu der mit der Rückgratshöhle ununterbrochen zusammenhängenden Schädelhöhle erweitert. Der Rumpf formt also auf seiner Vorderseite wie auf seiner Rückenseite je eine Röhre, aus Knochen, Muskeln, Haut ꝛc. gebildet. Von der Röhre auf der Vorderseite des Rumpfes, von der Brust-Bauchhöhle, haben wir vernommen, daß sie eine zweite innere Röhre, das Verdauungsrohr, einschließt. In ganz ähnlicher Weise liegt auch in der Schädel-Rückgratshöhle ein inneres Röhrengebilde, die Gehirn-Rückenmarksröhre oder,

nach dem gebräuchlichen Ausdruck, das **Gehirn** samt dem mit ihm verbundenen, mit ihm ein Gesamtorgan darstellenden **Rückenmark**. Gehirn und Rückenmark bestehen nicht nur, wie das Verdauungsrohr, primär als eine Röhre, die an ihrem oberen Ende, dem Kopfende, durch Ausbuchtung und Anschwellung das Gehirn bildet, sondern sie zeigen auch noch in dem vollkommen entwickelten Zustande den in der Mitte sie durchlaufenden, teilweise freilich sehr engen Röhrenhohlraum.

Bei der Bildung des Leibes entsteht zuerst der Kopf mit dem Rumpfe, erst später wachsen aus den Seitenpartien des letzteren die Extremitäten, Arme und Beine, als Teile der Rumpfwand hervor. Von ihnen dürfen wir also zunächst absehen. Der Rumpf selbst ist aber nach dem eben Gesagten im Prinzip in hohem Grade einfach gebaut. Die äußere Leibeswand bildet ein von der Körperhaut umkleidetes Doppelrohr: vorn die weitere Brust-Bauchhöhle, auf der Rückenseite die engere Schädel-Rückgratshöhle. Jede dieser beiden Röhren schließt wieder je eine innere Röhre in sich ein, die Brust-Bauchhöhle das Verdauungsrohr, die Schädel-Rückgratshöhle das Gehirn-Rückenmarksrohr. Während das letztere im wesentlichen frei in seinen Hüllen liegt, verbindet sich, wie gesagt, das Verdauungsrohr nicht nur durch das „Gekröse“ mit der inneren Rückenlinie der äußeren Leibeswand, sondern erhält von letzterer auch eine sie äußerlich umkleidende, mit ihr verwachsende Hülle und Bewegungsschicht, welche, wenn auch außerordentlich viel dünner und in geringerer Mächtigkeit entwickelt, doch im allgemeinen aus den gleichen Geweben: Fleischfasern, Binde- und Stützgewebe, besteht wie die unter der Oberhaut gelegene Schicht der Brust-Bauchwand und der Schädel-Rückgratshöhle und welche selbst wieder als eine Röhrenbildung erscheint.

Denken wir uns den schematischen Rumpf des Menschen quer durchschnitten, so treten uns die verschiedenen ineinander geschachtelten Röhren mit großer Deutlichkeit vor Augen. Die äußere Haut bildet eine äußerste Röhrenschicht, in welcher alle die übrigen stecken. Die unter der Haut liegenden Stütz- und Bewegungsschichten bilden weitere drei in der Rückenlinie zusammenhängende Röhren: die Schädel-Rückgratsröhre, die Brust-Bauchröhre und die Stütz- und Bewegungsröhre für die Verdauungsröhre. Dazu kommen nun noch zwei spezifische Röhrengebilde: die Gehirn-Rückenmarksröhre und die nur aus der Drüsenhaut bestehende wahre Verdauungsröhre. (S. Tafel „Schematische Längs- und Querschnitte durch den Menschenkörper“.)

Der ausgebildete Körper des Menschen läßt im Prinzip das gleiche Baugesetz erkennen wie der Körper der niedrigsten Wirbeltiere. Dieses **allgemeine Wirbeltierbaugesetz**, welches die eben gegebene Darstellung des schematischen Körperbaues schon anzudeuten suchte, spricht sich ebenso in dem fußlosen Körper der Schlange wie in dem Körper des Menschen aus. Aber die Schlange ist noch keineswegs das einfachste, das reduzierteste Schema des Wirbeltieres. Dem niedrigsten Wirbeltier, dem in den europäischen Meeren lebenden, im Jugendalter durchsichtigen, perlmutterglänzenden **Lanzettfischchen**, dem Amphioxus lanceolatus (vgl. die Abbildung, S. 132), fehlt außer den Gliedmaßen auch der Kopf mit den höheren Sinnesorganen. Das Zentralnervensystem, das sich sonst von Anfang an bei allen Wirbeltieren in Gehirn und Rückenmark gliedert, erscheint bei dem Lanzettfischchen als ein gerades, vorn und hinten abgerundetes Röhrengebilde, Gehirn-Rückenmarksröhre, von gleichmäßiger Dicke (mm), die Ausbuchtungen des Gehirnes sind nur angedeutet. Die knöcherne oder knorpelige Wirbelsäule, welche, in einzelne Wirbel getrennt, bei allen übrigen Wirbeltieren das Zentralnervensystem, die Gehirn-Rückenmarksröhre, in den Wirbelsäulen- oder Rückgratskanal einschließt, wird bei dem Lanzettfischchen durch einen an beiden Enden spitz zugehenden, unter der Gehirn-Rückenmarksröhre liegenden knorpelähnlichen, im allgemeinen gleichförmig dicken Strang mit rundlichem



Das Lanzettfischchen (Amphioxus lanceolatus). Vergrößert.
ch) Rückensaite (Chorda dorsalis), au) Augenfleck, mm) Rückenmark, o) Mundöffnung, k) Kiemen, mg) Magen und Darm, p) Bauchporus, r) Rückenmuskeln, h) Haut, s) Schwanzflosse, a) Auswurfsöffnung.

Querschnitt ersetzt, ein Gebilde, welchem wir als Achsenstab oder Rückensaite (Chorda dorsalis) als dem ersten Vorläufer der Bildung des Rückgrates auch bei der Entwickelung des höheren Wirbeltieres und des Menschen wieder begegnen werden (ch). Die Verdauungsröhre, aus welcher sich bei den höheren Wirbeltieren die großen Drüsen: Lunge, Leber rc., abgliedern, zeigt bei dem Lanzettfischchen nur geringe Anfänge dieser Bildungen, so daß sie im allgemeinen ziemlich gerade gestreckt unter der Rückensaite und dem Gehirn-Rückenmarksrohr verläuft. Sie öffnet sich an mehreren Stellen an der Körperoberfläche. Außer der Aufnahme- (o) und Auswurfsöffnung (a) an den beiden Körperpolen sehen wir noch, ähnlich wie bei höher ausgebildeten Fischen, am vorderen Körperende jederseits als primitive Atmungsorgane Kiemenöffnungen, Kiemenspalten (k), in die vegetative Röhre münden. Diesen Kiemenspalten entsprechende Bildungen treten auch in den ersten Stadien der Entwickelung des Menschenkörpers auf. Die äußere Leibeshülle bildet, wie bei allen Tieren, so auch bei den Lanzettfischchen die Oberhautschicht (h). Unter dieser werden Gehirn-Rückenmarksröhre und Rückensaite durch fleischige und häutige Gebilde umschlossen, die in der Rückengegend des Tierchens verschmolzen sind (r), während sie sich an den Seitenteilen seines Körpers in zwei sehr ungleich dicke Lagen, eine äußere und eine innere, spalten. Die äußere dieser Lagen bildet unter der Oberhaut und mit dieser verbunden die seitliche und vordere Körperwandung des kleinen Fisches; die innere, viel dünnere überkleidet die Verdauungsröhre. Zwischen dieser und der Innenfläche der Körperwandung bleibt auf diese Weise ein Spaltraum übrig. Wir erkennen auf den ersten Blick, daß derselbe der eigentlichen Leibeshöhle, der Brust-Bauchhöhle, der höheren Wirbeltiere entspricht.

Denken wir uns einen Querschnitt durch den Amphioxus gelegt und sehen dabei von allen, auch den bisher nicht erwähnten Komplikationen seiner Körperbildung ab, so erscheint uns sein einfach gebildeter Körper bei dieser schematischen Betrachtung nahezu entsprechend dem Schema, welches wir von dem Bau des Menschenrumpfes konstruierten (s. Tafel bei S. 131), als ein mehrfach ineinander geschachteltes Röhrengebilde. Die äußerste Röhrenschicht, welche die anderen in sich schließt, wird von der Oberhaut gebildet. Im Inneren zeichnen sich, wie im Menschenrumpf von den drei Stütz- und Bewegungsröhren umhüllt, die beiden engeren, uns wohlbekannten Röhren aus, die Gehirn-Rückenmarksröhre und die Verdauungsröhre. Zwischen beiden erscheint der rundliche Querschnitt der das Rückgrat repräsentierenden Rückensaite.

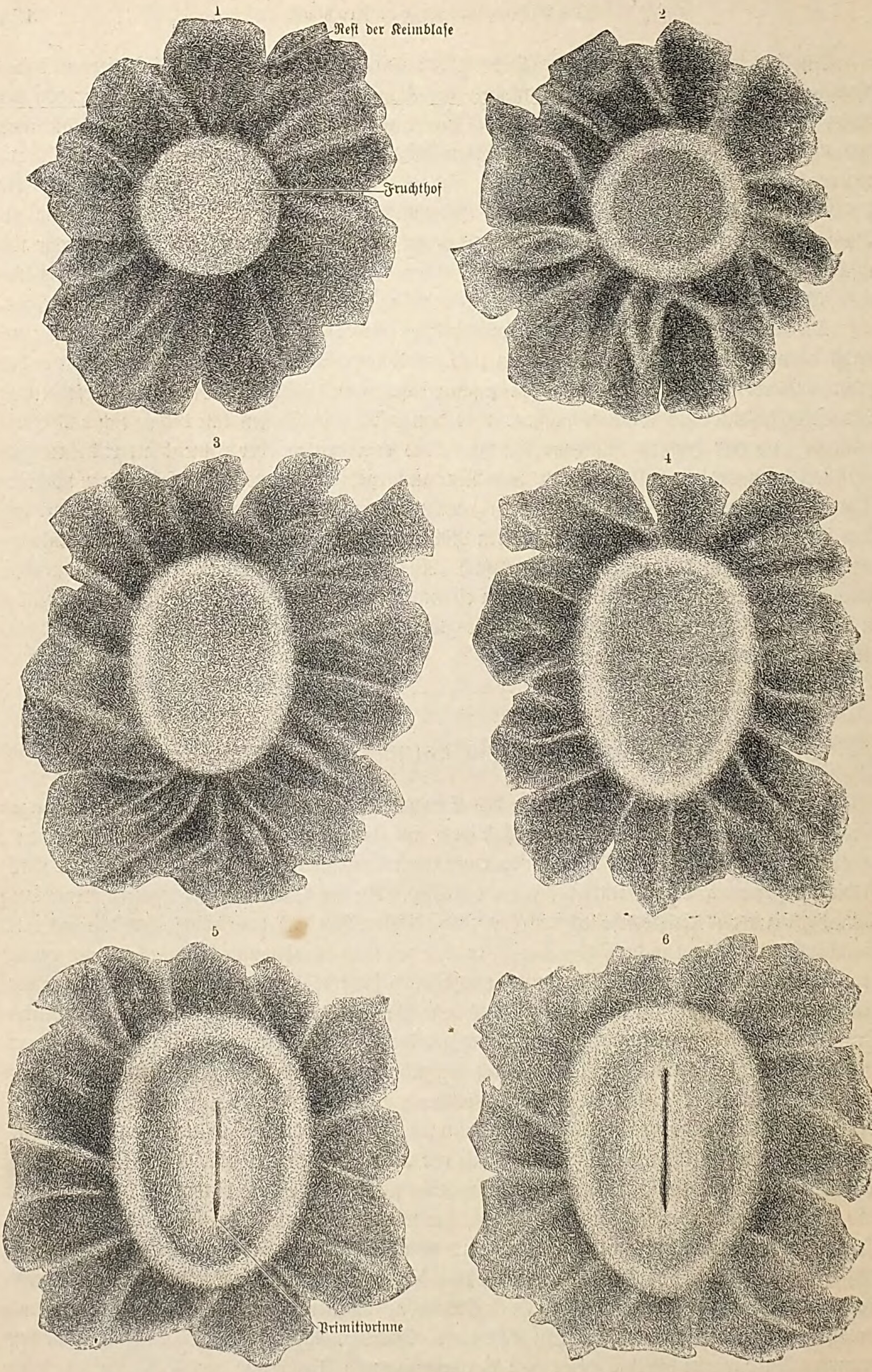
Für das erste Verständnis der Bildung der Leibesform der höheren Wirbeltiere und des Menschen aus den blätterartigen Uranlagen der Keimblätter genügt es, uns an die eben beschriebenen Röhrenbildungen seines Körpers zu erinnern. Wir haben, um das Gesagte noch einmal zu wiederholen, im Körper der höheren Wirbeltiere drei Hauptröhrenbildungen: Oberhautrohr, Gehirn-Rückenmarksrohr und Verdauungsrohr; außerdem drei an die Hauptröhren sich anschließende Stütz- und Bewegungsröhren, welche in der Rückengegend zusammenhängen: nämlich zuerst die zweite Schicht der Leibeswand (dem Oberhautrohr sich anschließend), dann die Schädel-Rückgratsröhre mit ihren Muskeln als Schutzhülle der Gehirn-Rückenmarksröhre und zuletzt die röhrenförmige Hüllschicht des Verdauungsrohres.

Die Frage nach der Bildung der komplizierten Leibesform reduziert sich für uns daher zunächst darauf: Aus welchen Keimblättern und wie bilden sich die verschiedenen den Körper des höheren Wirbeltieres wie des Menschen zusammensetzenden Röhren? Die darauf erfolgenden Antworten gestalten sich folgendermaßen: Aus dem ersten oder Außenblatt bilden sich das Oberhautrohr und das Gehirn-Rückenmarksrohr. Aus dem dritten oder Innenblatt entwickelt sich das Verdauungsrohr. Alle die Stütz- und Bewegungsgebilde, welche sich in sekundären Röhrenbildungen mit den drei primären Röhren verbinden, entstehen aus dem mittleren Keimblatt. Das Prinzip, nach welchem diese primären Röhrengebilde sich aus den blattförmigen Anlagen entwickeln, ist ebenfalls außerordentlich einfach. Aus den flachen Keimblättern bilden sich zunächst durch Erhebung von Falten Rinnen, deren einander entgegenwachsende freie Ränder sich zuletzt zu röhrenförmigen Gebilden schließen. Der gleiche Vorgang wiederholt sich bei den Röhrenbildungen aller drei Keimblätter.

Der Fruchthof und die in ihm stattfindenden Bildungsvorgänge.

Die Entwickelung der Fruchtanlage des Säugetieres hat nach unseren letzten Betrachtungen zur Bildung eines im übrigen doppelschichtigen, im Fruchthofe aber dreischichtigen Bläschens, der Keimblase, geführt, äußerlich noch von einer Umhüllungshaut überkleidet. Diese äußere Hülle ist die oft genannte durchsichtige Zone des Eies. An der Oberfläche der letzteren treten bald kleine, zottenartige Erhabenheiten auf, in kleine Würzelchen sich verästelnd, mit welchen nach manchen Umbildungen in der Folge das Ei in dem zu seiner Ausbildung bestimmten Hohlorgane, dem Uterus, sich mit dem Mutterkörper, aus dem es ja seine Nahrung ziehen muß, wieder verbindet, nachdem es sich bei dem Austritt aus dem Graafschen Bläschen des keimbereitenden Organs von dem Organismus, in dem es sich gebildet, zunächst getrennt hatte. Durch bald vorwiegende Wachstumszunahme dieser durch hinzukommende Schichten verstärkten und Blutgefäße von seiten der Frucht erhaltenden Zöttchen an einer umschriebenen Stelle des sich entwickelnden Eies und durch Wachstumserscheinungen, welche, von dem mütterlichen Körper ausgehend, an den gesteigerten Wachstumsprozeß der Eihülle sich anschließen, entsteht endlich unter reichlicher Beteiligung mütterlicher Blutgefäße jenes staunenswerte Verbindungs-, Ernährungs- und Atmungsorgan der ungeborenen Frucht, der Mutterkuchen, die Placenta, mit welchem diese aus dem Mutterkörper wie eine Pflanze aus dem Boden Nahrungs- und Atmungsstoffe saugt.

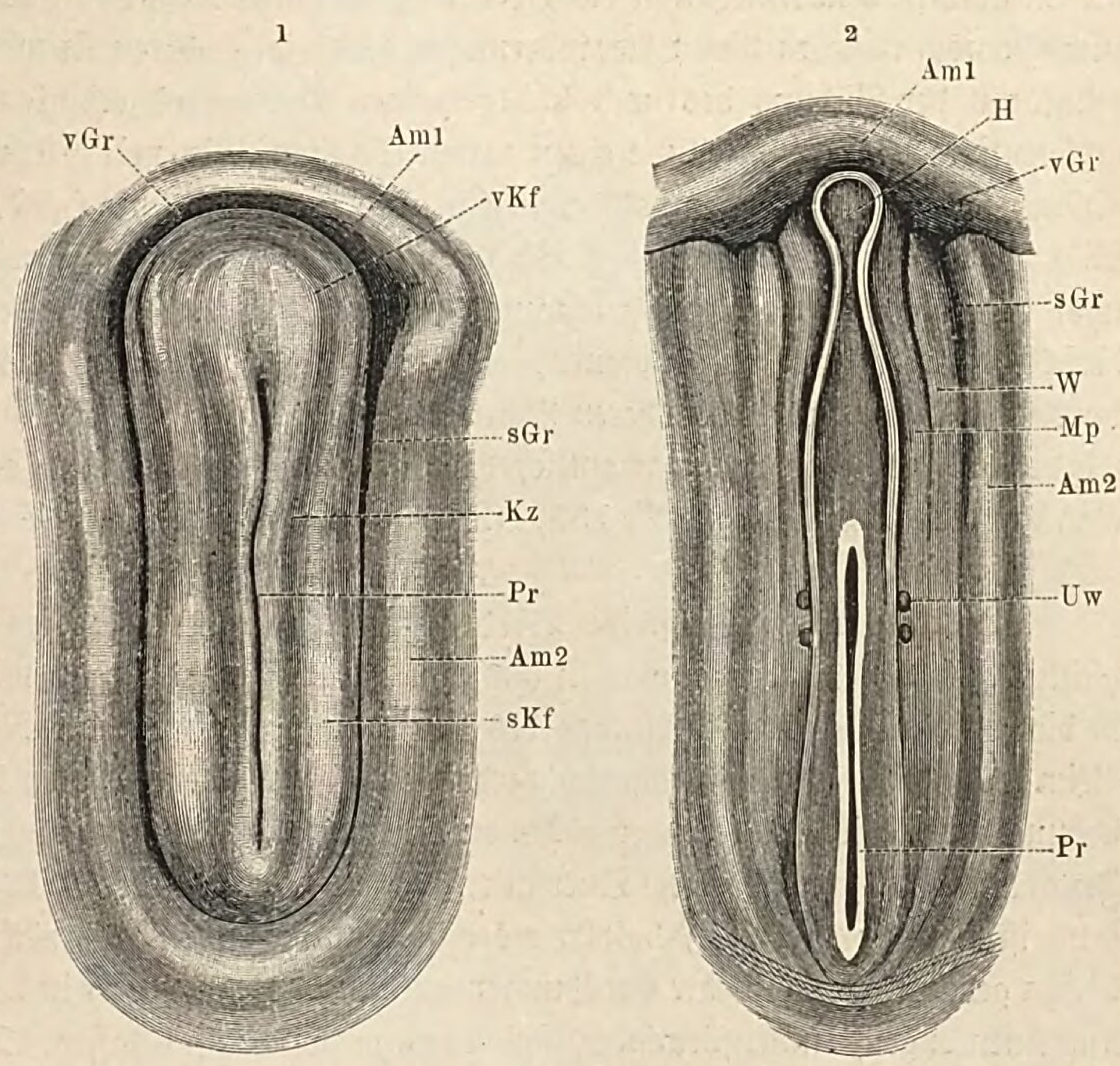
In dem Fruchthof (s. Abbildung, S. 134) stellen sich auffällige Veränderungen ein. Wir lernten den Fruchthof kennen als einen kreisrunden, dunkleren, weißlichen Fleck, der sich als Kreisscheibe von der sonst wasserklaren Keimblase abhebt (s. Figur 1, S. 134). Indem an dem gesamten Außenrande dieser Scheibe eine Vermehrung und Wucherung der Zellen eintritt, bildet sich rasch ein Gegensatz zwischen einer helleren, durchsichtigeren Mitte und einer dunkleren, trüben



Der Fruchthof des Kaninchen-Eies und seine ersten Veränderungen. Vergrößert.
Die Keimblase ist unregelmäßig aufgerissen, um sie flächenhaft ausbreiten zu können. Das Dunkle durchsichtig, das Weiße undurchsichtig.

Randzone des Fruchthofes aus (s. Figur 2, S. 134). Man unterscheidet nun einen durchsichtigen von einem undurchsichtigen Fruchthof. Der undurchsichtige lagert als ein weißer Ring um die durchsichtigere, noch kreisrunde Mittelscheibe. Dieses Bild ist es, in welchem einst Harvey in poetischer Auffassung eine Ähnlichkeit mit dem menschlichen Auge erkannte; er nannte den Fruchthof das Auge des Eies.

Im fortschreitenden Wachstum verändert sich zunächst der Umriß der beiden Fruchthöfe, während der Gegensatz zwischen ihnen in Beziehung auf die Durchsichtigkeit noch bestehen bleibt. Aus der kreisrunden Gestalt geht der Fruchthof zuerst in eine länglichrunde (s. Fig. 3, S. 134) über, dann wird er oval und schließlich ausgesprochen eiförmig (s. Fig. 4, S. 134). Das obere Ende ist breiter, mehr rund, das untere dagegen schmäler und mehr zugespitzt. Jetzt erscheint die erste Spur des bleibenden Fruchtkörpers. In der Mitte des hellen Fruchthofes macht sich eine dunklere, undurchsichtigere Stelle bemerklich (s. Fig. 5 und 6, S. 134), welche anfänglich nur undeutlich und auf das zarteste begrenzt, bald aber mit schärferen Konturen als ein länglichrundes Schildchen erscheint, von zwei eiförmigen Ringen, einem durchsichtigen und einem undurchsichtigen, umgeben. Der undurchsichtige Ring ist der uns wohlbekannte dunkle Fruchthof, der durchsichtige Ring ist nichts anderes als der Rest des durchsichtigen Fruchthofes, soviel von ihm bei der Bildung des Schildchens übriggeblieben ist.



Körperanlage des Hühnchens auf dem Fruchthofe. 1) Vom ersten Bruttage, 2) vom Ende des ersten Bruttages. 20mal vergr.; Rückenansicht (vgl. die Abbild. S. 144, 145 u. 148). 1 Pr) Primitivrinne, vKf und sKf) vordere und seitliche Keimfalte, vGr und sGr) vordere und seitliche Grenzrinne, Kz) Falte an der Grenze zwischen Stamm und Seitenzone, Am 1 und Am 2) vordere und seitliche Amnionfalte. 2) Bezeichnungen wie bei 1); außerdem H) Gehirnanlage, W) Wolffsche Leiste, auf welcher sich die Extremitäten entwickeln, Mp) Gehirn-Rückenmarksrinne, Uw) Urwirbel.

Diese schildförmige, langgestreckte, ovale Bildung, welche dadurch entsteht, daß hier die beiden oberen Blätter des Fruchthofes durch Vermehrung ihrer Zellen mehrfache Zellenlagen hergestellt haben, wird als Vorkörper der Frucht bezeichnet. Das dem mehr abgerundeten Oberteil des undurchsichtigen Fruchthofes entsprechende Ende des schildförmigen Vorkörpers wird zum Kopfe, das entgegengesetzte, gegen die spitzere Partie des undurchsichtigen Fruchthofes gewendete wird zum Rumpfende des neu entstehenden Körpers. Nach der Bildung des Vorkörpers nimmt der Fruchthof wieder seine anfängliche kreisrunde Form an. Während das Vorder- und Hinterende des Vorkörpers stärker in die Breite wachsen, bleiben seine mittleren Partien etwas im Wachstum zurück. Der wachsende Vorkörper scheint sich daher in den Mittelpartien gleichsam

etwas einzuschnüren. Dadurch nimmt er jene außerordentlich charakteristische biskuitförmige Gestalt an, welche man auch mit dem Umriß einer Leier verglichen hat (s. Abbildung, S. 135, Figur 1). Bei der menschlichen Frucht wird die Leierform des Vorkörpers in der zweiten Woche der Entwickelung erreicht, seine Größe beträgt gegen Ende der zweiten Bildungswoche wenig über 2 mm.

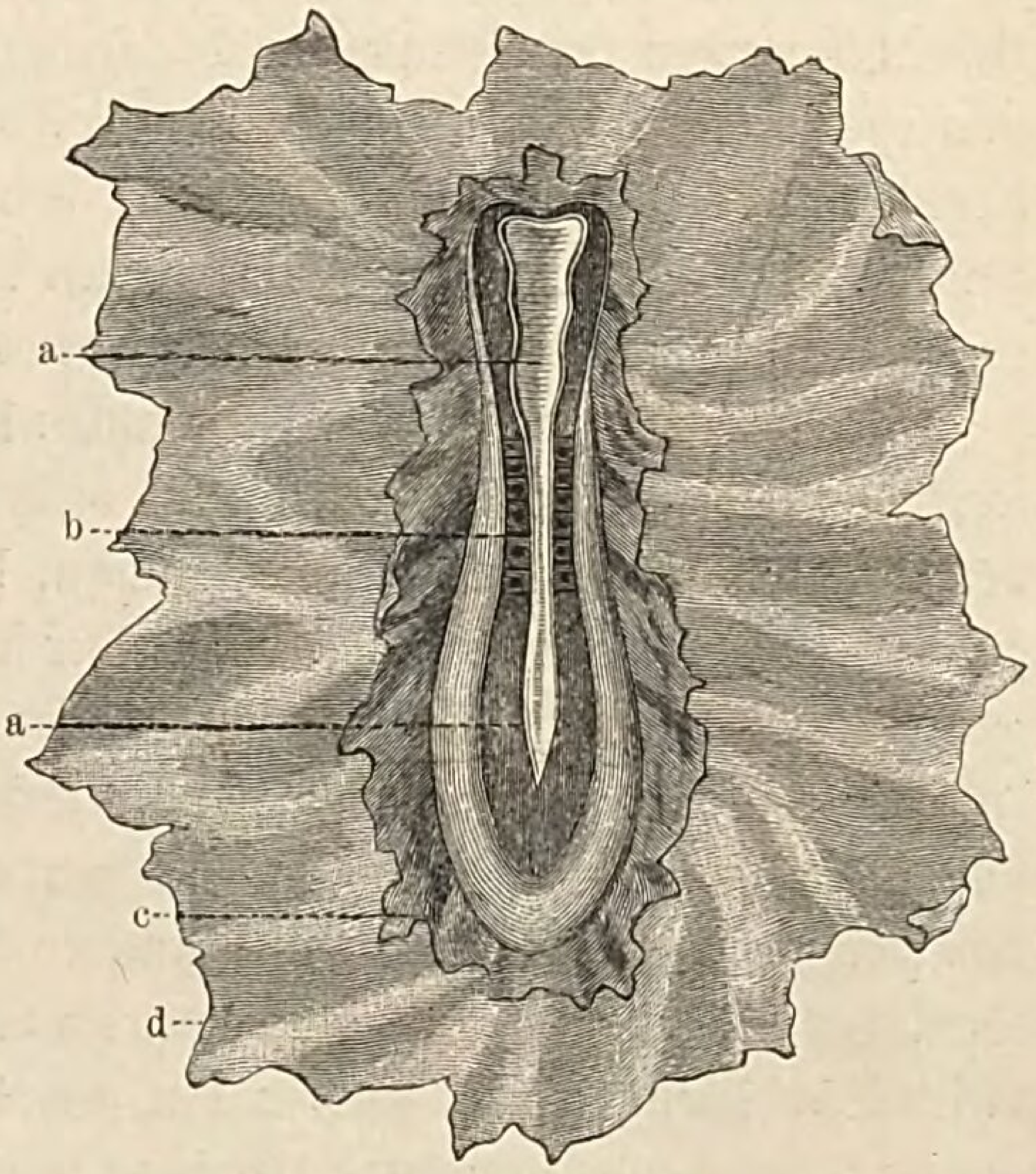
Während der Ausbildung der Leierform der Körperanlage sind nun aber schon höchst bemerkenswerte Veränderungen zunächst in dem oberen Keimblatt, dem Hautsinnesblatt, und mit diesem auch in dem Mittelblatt eingetreten. Das untere Keimblatt, das Darmdrüsenblatt, nimmt zunächst noch nicht an diesen Veränderungen der beiden oberen Keimblätter Anteil. Fast gleichzeitig mit der Bildung des noch schildförmigen Vorkörpers erblicken wir in der seiner Längsachse entsprechenden Mittellinie einen zarten Streifen, Primitivstreifen, welcher die Körperanlage symmetrisch, aber unvollkommen in eine rechte und linke Hälfte spaltet (s. Figur 5 und 6, S. 134, und Figur 1, S. 135). Bald erkennt man, daß dieser Streifen, der weder das vordere noch das hintere Ende der Fruchtanlage erreicht, sich an dem letzteren aber mehr der Grenze derselben nähert als am Kopfende, eine zarte Rinne darstellt, die Primitivrinne, welche durch eine Einsenkung des oberen Blattes gebildet wird. In der Umgebung der Primitivrinne zeigen sich das obere und namentlich das Mittelblatt verdickt und beide in der Mittellinie miteinander verschmolzen (s. S. 135, Abbildung 1 und 2).

Betrachten wir zunächst die Bildungen des oberen Keimblattes, des Hautsinnesblattes, für sich. Das erste, was in ihm von den bleibenden Organen des Körpers kenntlich wird, ist die zuerst rinnenförmige Anlage des Zentralnervensystems, des Rückenmarkes und Gehirnes. Beim Hühnchen (und ganz ähnlich verhält es sich bei allen höheren Wirbeltieren) wird die Entstehung der Gehirn-Rückenmarksröhre durch eine auf der Außenfläche und zwar am Kopfende der Fruchtanlage auftretende kurze Querfalte, die Kopffalte (vKf, S. 135), eingeleitet. Diese Querfalte ist nach vorn konvex, halbkreisförmig, und von ihren nach rückwärts sich biegenden beiden Enden gehen seitliche lineare Erhebungen aus, welche namentlich in der Nähe der Kopffalte selbst nur einen engen, rinnenförmigen Zwischenraum zwischen sich lassen. Durch weitere Erhebung der seitlichen Ränder der Anlage der Gehirn-Rückenmarksröhre entsteht sehr bald eine nach vorn durch die Kopffalte geschlossene, nach hinten sich etwas erweiternde Rinne. Die seitlichen Erhebungen dieser Rinne werden als Rückenwülste (Kz) bezeichnet, die Rinne selbst als Rückenfurche, Gehirn-Rückenmarksrinne oder Markrinne. Anfänglich liegt die Primitivrinne (Pr) noch ziemlich deutlich zwischen den beiden auseinander weichenden Schenkeln der letzteren, später aber bildet sie sich mehr und mehr zurück und verschwindet endlich. Dagegen verlängern sich die Rückenwülste und mit diesen ihren Rändern die Markrinne selbst mehr und mehr gegen das Ende der Fruchtanlage hin.

Indem die Ränder der Rückenfurche emporwachsen und sich gegeneinander neigen, kommt es endlich zu einer Berührung und schließlich zur Verwachsung der in den Rückenwülsten emporgehobenen Faltenränder des oberen Keimblattes. Durch diesen im Prinzip höchst einfachen Vorgang, den wir uns durch doppelte Faltung eines Papierblattes in den Hauptzügen vergegenwärtigen können, wird das Mittelstück des oberen Keimblattes, soweit sich dasselbe in dem Vorkörper selbst befindet, zu einer geschlossenen Röhre, zur Gehirn-Rückenmarksröhre, zusammengerollt und diese gleichzeitig unter die nicht zu dieser Röhrenbildung verwendeten, zum Vorkörper gehörigen seitlichen Partien des oberen Keimblattes gerückt. Während nämlich die bei der Bildung des Markrohres aufgehobenen Faltenränder miteinander verwachsen, ziehen sich von dieser Verwachsungslinie aus auf dem Firstrande der neugebildeten Gehirn-Rückenmarksröhre die seitlichen

Teile des oberen Blattes von einer Seite des Vorkörpers zur anderen herüber. Wir haben zu beachten, daß sonach eine Verwachsungslinie der Oberhaut auf der Mittellinie des Rückens entlang läuft. Die Gehirn-Rückenmarksröhre wird später von Bildungen des Mittelblattes noch weiter allseitig umwuchert. Dadurch schieben sich die Mittelblattschichten (Knochen, Muskeln) zwischen die Oberhaut und die Gehirn-Rückenmarksröhre ein, so daß sich diese beiden aus demselben ersten Keimblatt entstandenen Gebilde so weit voneinander trennen, wie wir sie in dem Körper des Erwachsenen antreffen. Die Verwachsung der Gehirn-Rückenmarksrinne zum Rohr beginnt in der Nackengegend der Fruchtanlage und schreitet von hier aus nach vorn und hinten fort; am spätesten erfolgt der Verschluß durch Verwachsung an dem hintersten Ende der Röhre.

An Flächenansichten fällt schon in einem sehr frühzeitigen Entwickelungsstadium die erste Anlage des Gehirnes bei allen höheren Wirbeltieren deutlich in das Auge. Am vorderen Ende der sich zum Gehirn-Rückenmarksrohr vereinigenden Gehirn-Rückenmarksrinne bilden sich blasige Auftreibungen (a oben). Es werden das die Hirnblasen, die Anlagen der Hauptabschnitte des Gehirnes. Auch nahe am hinteren Ende der Gehirn-Rückenmarksrinne bildet sich eine rautenförmige, aber viel geringere Erweiterung, die rautenförmige Bucht, Sinus rhomboidalis (a unten). Dieses ist die oben erwähnte Stelle, an welcher sich die rinnenförmige Anlage des Zentralnervensystems, des Gehirnes und Rückenmarkes, am spätesten zur Röhre schließt. Die nebenstehende Abbildung sowie die auf S. 140 zeigen uns die erste Anlage des Gehirnes und Rückenmarkes noch im Zustande der offenen Rinne.



Körperanlage eines Hundes-Eies, etwa 12mal vergrößert; von oben gesehen.
aa) Gehirn-Rückenmarksrinne, oben mit drei Erweiterungen, welche in der Folge zu den drei Hirnblasen werden, unten mit der rautenförmigen Enderweiterung, b) Urwirbel, c) oberes, d) unteres Keimblatt mit durch Aufreißen der Keimblase zerfetzten Rändern (vgl. Abbildung, S. 140).

Wenden wir uns nun zur Betrachtung der Vorgänge, welche im Mittelblatt eintreten, während die Anlage und Bildung des Gehirn-Rückenmarksrohres im obersten Blatte erfolgt. Wir wollen erstere gesondert besprechen, obwohl die betreffenden Bildungen des Mittelblattes im innigsten Anschluß an jene des oberen Blattes entstehen, ja zweifelsohne vom Mittelblatt aus die Veränderungen in der elastischen Spannung des oberen Blattes wesentlich angeregt werden, als deren Resultate wir die Falten- und Röhrenbildung in dem letzteren auftreten sahen.

Die Veränderungen im Mittelblatt unterscheiden sich von denen, welche wir im oberen Blatte kennen gelernt haben, bei den Säugetieren und dem Menschen von vornherein dadurch, daß es im Mittelblatt durch Auftreten von Längs- und Querspalten sehr bald zur Trennung der Anlagen der aus ihm hervorgehenden Hauptorgane kommt, welche sich erst in den späteren Entwickelungsstadien durch Um- und Anwachsungsphänomene wieder miteinander verbinden. Zunächst tritt auch im Mittelblatt eine auf Zellenwucherung beruhende rinnenförmige Bildung und zwar unter der Gehirn-Rückenmarksrinne ein. Die letztere wird von den sich erhebenden Rändern dieser ersten Mittelblattrinne mehr und mehr eingehüllt. Gleichzeitig erfolgt in den mittleren Partien des Mittelblattes eine jener für das Mittelblatt charakteristischen Abspaltungen. Es bilden sich zwei parallele Längsspalten direkt unter der Anlage der Gehirn-Rückenmarksröhre,

wodurch ein auf dem Querschnitt rundlicher Strang oder Stab, der Achsenstab, die Rückensaite oder Chorda dorsalis, aus dem Mittelblatt gleichsam herausgeschnitten wird als erste Anlage der künftigen Wirbelsäule. Nun treten in den mehr seitlich gelegenen Teilen des Mittelblattes zwei neue Spalten auf, wieder parallel zu den ersten Parallelspalten, welche die Chorda abgetrennt haben. Dadurch werden jederseits von der Chorda die „Ursegment- oder Urwirbelplatten" herausgeschnitten, die aber zunächst weniger für die Anlage der knöchernen Wirbelsäule als für die Anlage der Muskulatur von hoher Bedeutung sind. Die Gliederung der Ursegmentplatten erfolgt, indem sie durch unter sich parallele Spalten in ziemlich regelrecht würfelförmige Stücke, die Ursegmente oder Urwirbel, zerlegt werden. In der Folge treten die Urwirbel in die engste Beziehung zur Chorda, der eigentlichen Vorläuferin der definitiven Wirbelsäule. Die Urwirbel werden bei Betrachtung der Fruchtanlage von oben und von der Fläche zunächst als zwei oder drei Paare vierseitiger, dunkler, durch helle, schmale Zwischenräume voneinander getrennter Flecke (Uw in Fig. 2, S. 135; b in den Figuren, S. 137 und 140) sichtbar, die sich bald vermehren. Vor den erstentstandenen bilden sich nur noch zwei oder drei Paare, die übrigen reihen sich hinter den zuerst bemerkbar gewordenen an.

Die seitlichen, jenseit der abgetrennten Ursegmentanlagen liegenden Teile des Mittelblattes, soweit dasselbe im Vorkörper selbst sich befindet, werden als Seitenplatten bezeichnet. Schon vor der Abtrennung der Ursegmentanlagen hat sich in den Seitenplatten eine Veränderung angebahnt, welche die ersten Andeutungen der sich entwickelnden Leibeshöhle, der Brust-Bauchhöhle, darstellt. Es bildet sich ein horizontaler Schlitz in der Masse der Seitenplatten aus, welcher diese endlich in zwei horizontal übereinander liegende Schichten trennt. In den Seitenteilen besteht sonach die Fruchtanlage in diesem Stadium aus vier übereinander geschichteten Blättern, indem sich hier zwischen dem oberen und unteren Keimblatt das gespaltene Mittelblatt befindet. Die Spaltung des Mittelblattes und damit die vier Blätter der Fruchtanlage finden sich, wie sich aus dieser Darstellung ergibt, nur in den peripherischen Teilen des Vorkörpers. In den mittleren Partien, wo Achsenstrang und Urwirbel liegen, zeigt sich diese horizontale Spaltung nicht. Aus den beiden Platten, in welche sich die Seitenplatten jederseits trennten, entstehen in der Folge die Lederhaut, die Muskeln, Knochen und alles Stützgewebe der Seiten- und Vorderteile des Leibes und des Verdauungsrohres. Die obere Schicht der Seitenplatten, welche sich unter die Oberhaut anlegt, wird Hautfaserplatte, die untere, mit dem Verdauungsrohr sich vereinigende Schicht Darmfaserplatte genannt.

In dem dritten, unteren Keimblatt sind auf dieser Entwickelungsstufe noch keine Umbildungen bemerkbar. Es besteht noch immer aus einer einzigen Zellenschicht, die um so dünner erscheint, da die beiden anderen Blätter, aber namentlich das mittlere, sich sehr wesentlich durch Zellenvermehrung verdickt haben.

Während diese Veränderungen weiter und weiter fortschreiten, ist der Vorkörper im ganzen noch immer flach scheibenförmig, die beschriebenen Bildungen der Keimblätter liegen noch immer im wesentlichen in horizontaler Schichtung übereinander. Deutlich wird dieses Verhältnis, wenn wir uns auf den senkrecht zur Längsachse des Vorkörpers geführten Querschnitten die Schichtenlagerung betrachten (s. Tafel „Querschnitte der drei Keimblätter"). Die gegenseitige Lagerung der Teile ist namentlich an Figur 5 mit Einem Blicke zu übersehen. Das obere Blatt geht, soweit es nicht zur Gehirn-Rückenmarksröhre verbraucht wurde, kontinuierlich hinweg über die in der zweiten Schicht der Fruchtanlage liegenden kompliziertere Bildungen, welche, wie wir wissen, teils aus dem Mittelblatt, teilweise aber auch aus dem oberen Blatte hervorgegangen sind. Ebenso begrenzt das dritte Blatt als eine einfache Schicht die genannten Bildungen nach unten. In der

Querschnitte der drei Keimblätter und die aus ihnen hervorgehenden Bildungen, zu verschiedenen Entwickelungsstadien fortschreitend.

I. Blatt gelb.
II. - rot.
III. - blau.
o Oberhaut.
m Gehirn-Rückenmarksrinne offen und zum Rohr geschlossen.
a Achsenstab *(chorda dorsalis)*.
l Spaltungsraum zwischen Hautfaserplatte und Darmfaserplatte, erste Andeutung der Brust-Bauchhöhle.
ao Aorta.
uwp Urwirbelplatten.
uw Urwirbel.
un Urnierengang.

Fig. 1. Querschnitt durch die Hühnchen-Anlage, Keimblätter flach.

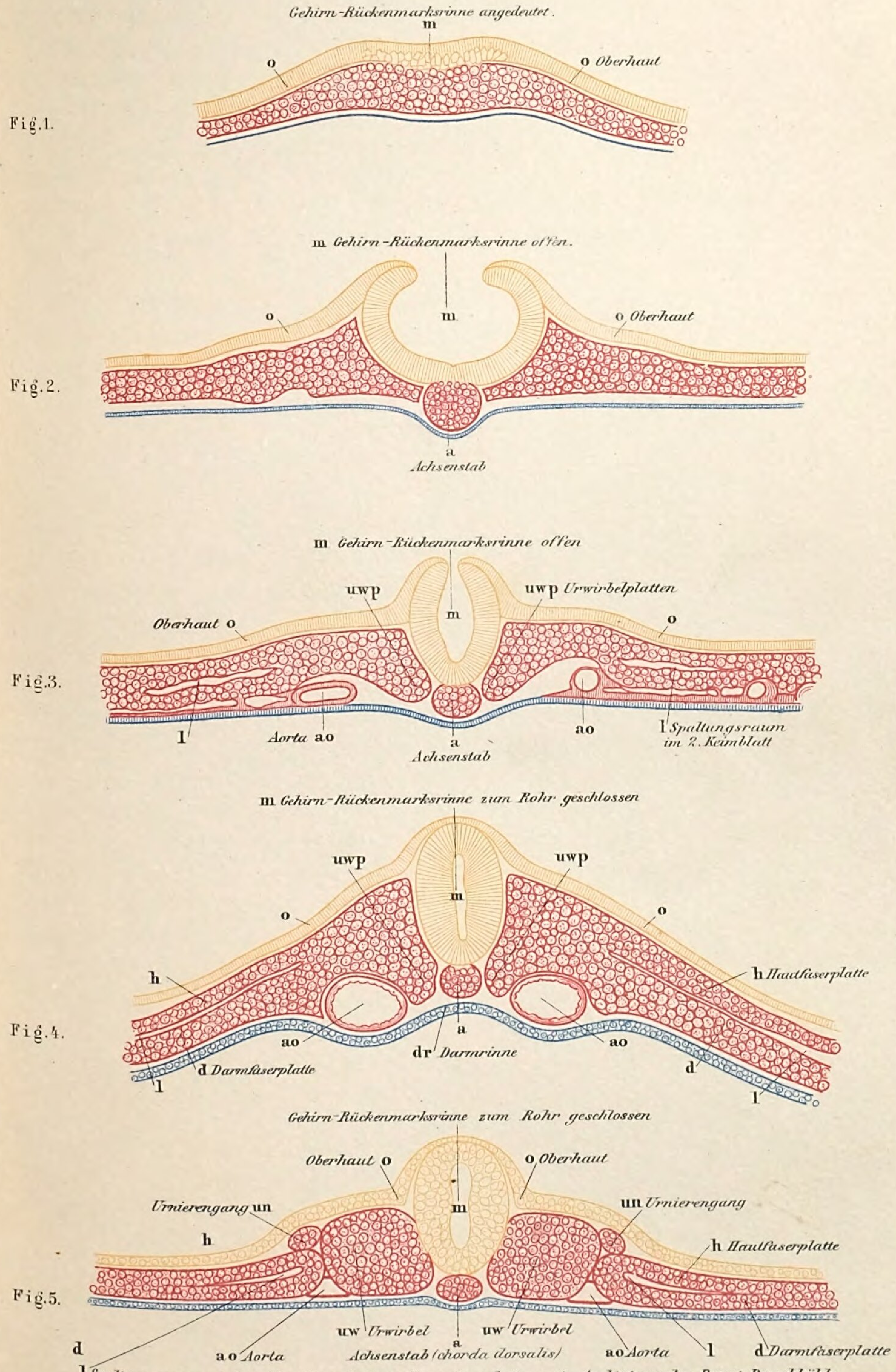
Fig. 2. 3. 4. Querschnitt durch die Hühnchen-Anlage, in der zweiten Hälfte des zweiten Brüttags.

Fig. 2. Im ersten, obersten Blatt hat sich die Gehirn-Rückenmarksrinne m gebildet. Im Mittelblatt hat sich der Achsenstab *(chorda dorsalis)* abgegliedert. Drittes Blatt unverändert.

Fig. 3. Im ersten Blatt beginnt sich die Gehirn-Rückenmarksrinne zu schliessen. Im zweiten Blatt hat sich eine seitliche Spaltung l in den Seitenteilen eingestellt, die erste Andeutung der Brust-Bauchhöhle. Die Aorta hat sich jederseits gebildet. Drittes Blatt unverändert.

Fig. 4. Im ersten Blatt ist der Verschluss des Gehirn-Rückenmarksrohrs vollendet, die Oberhaut streicht über dasselbe ununterbrochen hin. Im zweiten Blatt hat die Spaltung bei l sich weiter ausgebildet, das über der Spalte liegende Blatt ist die Hautfaserplatte h, das unter der Spalte liegende die Darmfaserplatte d. Die ungespaltenen Stücke des zweiten Blattes zur Seite des Achsenstabes bilden die Urwirbelplatten uwp. Im dritten Blatt beginnt sich unter dem Achsenstab die Darmrinne zu bilden.

Fig. 5. Die Urwirbelplatten uwp haben sich zu Urwirbeln uw gegliedert.



QUERSCHNITTE DER DREI KEIMBLÄTTER.

Mittellinie der zwischen dem Reste des oberen Keimblattes und dem noch unveränderten Innenblatt gelegenen Schicht sehen wir zwei wichtige Gebilde untereinander liegen. Zu oberst, aus dem oberen Keimblatt hervorgegangen, die auf dem Querschnitt ovale Gehirn-Rückenmarksröhre m mit einem quer verengerten Hohlraum im Inneren. Unter dem Gehirn-Rückenmarksrohr liegt der rundliche Querschnitt der viel weniger mächtig entwickelten ersten Uranlage der Wirbelsäule, der dem Mittelblatt zugehörende Achsenstrang, die Chorda a. Zu beiden Seiten dieser die Mitte einnehmenden Organanlagen erkennen wir die annähernd quadratischen Durchschnitte der Ursegmente oder Urwirbel uu, von der Chorda a wie von den Seitenplatten getrennt. An den Seitenplatten h und d selbst zeigt sich der Horizontalspalt l, welcher sie in die obere Hautfaserplatte h und in die untere Schicht, die Darmfaserplatte d, spaltet. Der Spalt zwischen beiden ist die erste Andeutung der Brust-Bauchhöhle. In der Richtung gegen die Urwirbel zu verbinden sich diese beiden sekundären Platten, die Hautfaserplatte und die Darmfaserplatte, bogenförmig miteinander. Noch sind die beiden sekundären Seitenplatten fast gleich dick und gleichartig entwickelt. In der Folge gehen aber, wie wir hörten, sehr verschieden mächtige Gebilde aus ihnen hervor. Die Darmfaserplatte d wird vorwiegend zur unscheinbaren Muskel- und Hautumhüllung des Verdauungsrohres. Alle unter der Oberhaut gelegenen Bildungen der Körperwände: die Lederhaut, unter dieser das Fett-, Haut- und Fleischgewebe, die Knochen der Brust und des Unterrumpfes sowie der gesamte Bewegungsapparat der Arme und Beine, entwickeln sich dagegen aus den Hautfaserplatten h, d. h. aus den oberen Spaltungsschichten der Seitenplatten des Mittelblattes.

Das S. 137 gegebene Flächenbild von der Entstehung der Gehirn-Rückenmarksrinne ist die Abbildung einer Säugetierfrucht (Hund) aus sehr frühem Entwickelungsstadium. Wir erkennen unter der rinnenförmigen Gehirn-Rückenmarksanlage, durch das durchsichtige obere Keimblatt hindurch, den Achsenstab, die Chorda, als einen dunkleren Streifen. Neben der Markrinne und zwar auf beiden Seiten ihres schmälsten Abschnittes treten einige Paare vierseitiger, dunkler, durch helle, schmale Spalträume voneinander getrennter Flecke auf; es sind das die Urwirbel oder Ursegmente.

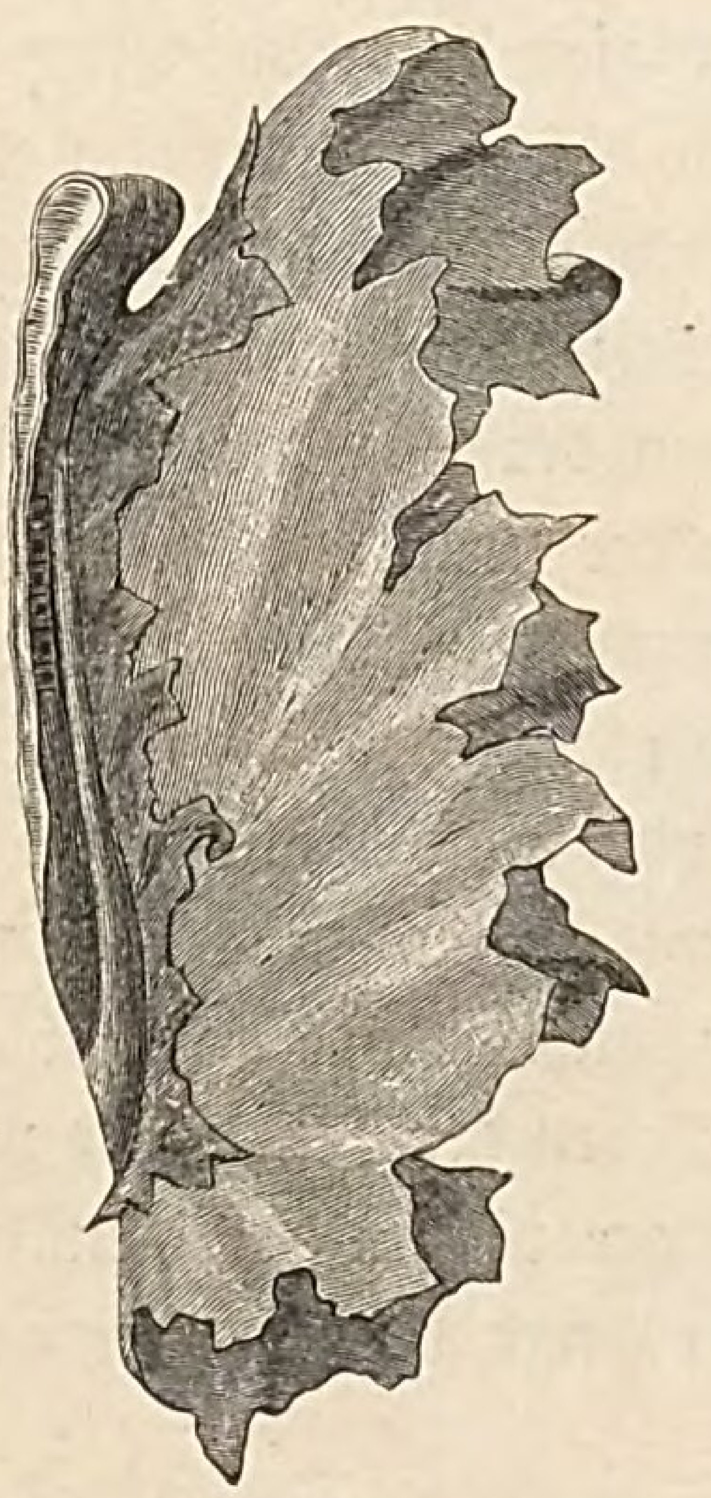
Wir haben oben gehört, daß nur noch zwei oder höchstens drei Paare von Urwirbeln vor den zuerst angelegten entstehen; alle anderen Urwirbelpaare kommen hinter den zuerst auftretenden zum Vorschein. Daraus ergibt sich die höchst wichtige Thatsache, daß die zuerst auftretenden Urwirbelpaare dem dritten oder vierten bleibenden Halswirbel entsprechen. Also beinahe die Hälfte des ganzen Vorkörpers kommt auf die Anlage des Kopfes, etwas über ein Viertel auf die Anlage der oberen Halsgegend und nur das letzte Viertel auf den gesamten übrigen Rumpf. Es ergibt sich daraus von vornherein, welch hohe Bedeutung unter den Körperorganen dem Kopfe, vor allem aber dem Gehirn zukommt, da auf seine Bildung bei dem Menschen und allen Säugetieren die überwiegende Masse der ganzen Fruchtanlage verwendet wird.

Entstehung der plastischen Körperform aus der flächenhaften Anlage.

W. His hat das mechanische Prinzip der Entwickelung der Wirbeltierfrucht auf die verschiedene Dehnung und Faltung elastischer Platten, der Keimblätter, zurückzuführen gesucht. Namentlich bei der Gliederung des Gehirn-Rückenmarksrohres treten solche in gewissem Sinne elastische Wirkungen hervor. Wie schon gesagt, liegt der Motor für diese Dehnungen und Faltungen zum Teil im Mittelblatt des Vorkörpers, welches durch sein rasches und in bestimmten Richtungen ungleichmäßiges Wachstum das mit ihm in der Mittellinie verbundene obere Keimblatt wie später auch das untere Blatt teils faltet, teils dehnt. Auch die Bildung der plastischen

Körperform aus dem noch immer im wesentlichen flächenhaften Vorkörper sehen wir durch das gesteigerte Wachstum des Mittelblattes eingeleitet und teilweise bedingt. Es treten nun aber in ihm zu diesem Zwecke zunächst keine neuen Gliederungen mehr auf, dagegen wächst es allseitig, wenn auch nach den verschiedenen Richtungen in etwas verschiedener Geschwindigkeit, doch überall ziemlich rasch in die Fläche.

Indem sich die übrigen Teile des Fruchthofes und des Keimblasenrestes an diesem gesteigerten allseitigen Flächenwachstum des Mittelblattes im Vorkörper so gut wie nicht beteiligen, hebt sich dieses mit den mit ihm verbundenen beiden anderen Keimblättern als eine Gesamtfalte in die Höhe. Die flache, leierförmige Fruchtanlage wird dadurch zu einer kahnförmig sich von dem Reste der Keimblase abhebenden Falte, deren Ränder da, wo sie an den Fruchthof und den Rest der Keimblase angrenzen, sich von allen Seiten her gegen die Höhlung der letzteren einkrümmen. Wie von Anfang an, ist auch nun noch das Wachstum der Fruchtanlage an der Kopfseite vorwiegend stark; hier wächst die Falte über die anfängliche obere Grenze des Vorkörpers rasch hinaus und erhält dadurch eine gewissermaßen taschen- oder sackartige Ausbuchtung, die Kopf-Darmhöhle. Gleichzeitig krümmt sich die Kopfanlage nach unten, da sie sich von der nicht mitwachsenden Keimblase nicht zu trennen vermag, von dieser daher nach ein- und abwärts gezogen wird. In ähnlicher Weise hebt sich etwas später das hintere Leibesende von der Keimblase ab. Es entsteht durch fortgesetztes Wachstum der Gesamtkörperfalte dadurch auch am hinteren, schwanzartig sich zuspitzenden Rumpfende eine taschenförmige Ausbuchtung, die Becken-Darmhöhle, welche aber, da in dieser Richtung die Fruchtanlage in geringerem Grade wächst, von Anfang an kleiner ist und kleiner bleibt als die Kopf-Darmhöhle. Auch an den Seitenteilen krümmt sich die Körperanlage mehr und mehr ein. Indem auf diese Weise die Gesamtkörperfalte, wie wir in diesem Stadium die Körperanlage nennen können, an Größe und Krümmung zunimmt, wird die anfänglich weit offene Pforte, durch welche sie mit der Keimblasenhöhle kommuniziert, enger und enger, indem sich die Ränder der Gesamtkörperfalte in gesteigertem Maße von allen Seiten her einander entgegenkrümmen und verwachsen. Endlich bleibt, da der Keimblasenrest sich nun fortschreitend verkleinert, nur noch eine vergleichsweise enge, rundliche Öffnung, die Nabelöffnung, übrig, welche bekanntlich erst nach der Geburt der Frucht sich vollkommen schließt.



Körperanlage eines Hunde-Eies, etwa 12mal vergrößert; von der Seite gesehen.
Das Offenstehen der Gehirn-Rückenmarksfurche und die Abschnürung des Kopfendes sind deutlich (vgl. Abbildung, S. 137).

Auf diese Weise bildet sich durch eine einfache Faltung der Rumpf des Körpers aus der gesamten flächenhaften Fruchtanlage. Er erscheint im ganzen (abgesehen von der Gehirn-Rückenmarksröhre und dem Kopfe) als eine am Rücken dreischichtige, an den Seitenteilen durch die Spaltung der Seitenplatten des Mittelblattes großenteils vierschichtige Röhre. In der Mitte der Bauchfläche läßt diese Körperröhre eine Öffnung, die Nabelöffnung, erkennen.

In dem Anfangsstadium des eben geschilderten Abschnürungsvorganges des Fruchtkörpers von dem Reste der Keimblase gleicht die sich erhebende und im ganzen Umfang, stärker aber am Kopf- und Schwanzende sich einkrümmende Gesamtkörperfalte einem umgestürzten Kahne, dessen vorderes und hinteres Ende zur Bildung der Kopf- und der Becken-Darmhöhle, wie bei einem sogenannten Grönländerkahn, in etwas verschiedener Ausdehnung verdeckartig geschlossen ist. Seit alter Zeit pflegt man aber die Fruchtanlage in diesem Bildungsstadium mit einem Schuh

zu vergleichen, dessen Eingangsöffnung nach unten gewendet ist. Die Kopf-Darmhöhle der Fruchtanlage wird dabei mit der Zehenkappe des Schuhes, die Schwanz-Darmhöhle mit der Fersenkappe verglichen, während die Öffnung des Schuhes die noch weite Nabelöffnung repräsentiert.

Bei der Abschnürung von der Keimblase liegt die Fruchtanlage mit ihrer Rückenfläche anfänglich nach oben, mit der Bauchseite nach unten, dem Reste der Keimblase zugewendet. Mit dem gesteigerten Wachstum sehen wir sie sich aber (und zwar ist das namentlich deutlich am Kopfe ausgesprochen) auf die linke Seite legen und sich gleichzeitig mehr und mehr zusammenkrümmen und zwar stärker von der Kopfseite her als von dem hinteren Ende des schwanzförmig sich zuspitzenden Rumpfes. Kopf und Rumpfende krümmen sich auf diese Weise nicht nur beide stark gegen die Bauchfläche, sondern nähern sich auch einander, indem sich die ganze Fruchtanlage gleichsam zusammenrollt.

Nach unseren bisherigen, unserer Aufgabe gemäß nur schematischen Darstellungen ist der Körperbau der Frucht bis zur Bildung zweier Hauptröhren fortgeschritten, einer oberen, unter der Mittellinie des Rückens liegenden, vollkommen geschlossenen, der Gehirn-Rückenmarksröhre, und einer unteren Röhre, der Brust-Bauchröhre, welche durch die Zusammenneigung der Ränder des gesamten flächenhaften Vorkörpers entsteht. Im Inneren der sich auf diese Weise abschließenden Rumpfanlage schreitet und zwar wieder vom Mittelblatt aus der Röhrenbildungsprozeß weiter.

Solange der Vorkörper in flächenhafter Ausbreitung bestand, war an dem untersten, dritten Keimblatt, dem Darmdrüsenblatt, Entoderm, keine auffällige Veränderung bemerklich gewesen. Während der Abschnürung des Hauptkörperrohres treten nun aber auch im dritten Keimblatt Vorgänge auf, welche zunächst zur Bildung eines noch unverzweigten, gerade gestreckten Rohres, der Verdauungsröhre, führen. Im allgemeinen herrscht manche Ähnlichkeit zwischen der Bildungsgeschichte der Verdauungsröhre und den Geschehnissen, durch welche wir das Gehirn-Rückenmarksrohr sich haben formen sehen. In der Längsmittellinie der Körperanlage kommt es endlich im dritten Keimblatt zur Bildung einer nach unten offenen Rinne, der Darmrinne. Auch die sich mehr und mehr erhebenden Ränder der Darmrinne verwachsen endlich zu einer aus dem dritten Keimblatt gebildeten Röhre, dem Verdauungs- oder Darmrohr. Die Verwachsung der Darmrinne zum Darmrohr schreitet aber insofern abweichend von der Entstehung des Gehirn-Rückenmarksrohres aus der Gehirn-Rückenmarksrinne fort, als bei dem Darmrohr die Verwachsung der Ränder nicht nur von rechts und links in einer Mittellinie erfolgt. Wie wir bei der Bildung des Hauptkörperrohres von allen Seiten her die Ränder der anfänglich ebenfalls rinnenförmigen Anlage des Rumpfes sich zur Bildung einer rundlichen Nabelöffnung zusammenbiegen und zusammenwachsen sahen, so geschieht das auch bei der Bildung des Darmrohres, die wesentlich von der Bildung des Hauptkörperrohres abhängig erscheint. Auch das Darmrohr verwächst von allen Seiten her, so daß es schließlich ein Röhrengebilde darstellt, oben und unten vollkommen geschlossen, also ohne Mund- und Afteröffnung, und nur durch die Nabelöffnung des Hauptkörperrohres noch mit der Höhlung der Keimblase kommunizierend. Erst später bilden sich durch ganz besondere Entwickelungsvorgänge die beiden bleibenden Thore aus, durch welche der Innenraum des Verdauungsrohres bei dem ausgebildeten Organismus am Kopfende (Mund) und am Rumpfende (untere Leibesöffnung) sich gegen die Außenwelt öffnet.

Die untere Spaltungsschicht der Seitenplatten des Mittelblattes legt sich an das sich immer mehr abschnürende Darmrohr als Darmfaserplatte an und gibt ihm nicht nur Gewebe für Stütze und Festigkeit, sondern auch die Muskelschicht, durch welche in der Folge die aktiven Bewegungen der Verdauungsorgane, namentlich des Verdauungsschlauches selbst, ermöglicht werden. Auch jene häutigen Bildungen, mit denen sich der Verdauungsschlauch an der inneren Rückenfläche

des Körpers befestigt, das Gekröse, gehen aus der Darmfaserplatte hervor. Die obere Spaltungsschicht der Seitenplatten legt sich dagegen als Hautfaserplatte an die Unterfläche des aus dem ersten Keimblatt entstandenen Oberhautrohres an. Die vordere Leibeswand wird anfänglich nur von diesen vereinigten noch sehr zarten Hautgebilden geschlossen. Erst später wuchern in dieselbe von den Urwirbeln aus die mittleren Verdickungsschichten mit Muskeln und Knochen ein. Der Spaltraum der beiden Seitenplatten, der beim Verschluß der Körperhöhle zu einem einheitlichen Hohlraum, der Brust-Bauchhöhle, verschmilzt, beginnt als Herzhöhle noch in der ursprünglichen Kopfregion, und hier bildet sich in ihm sehr bald das Herz, das also auch beim Menschen anfänglich im oder am Kopfe liegt.

Wir haben noch einen Blick auf die Umgestaltungen der Ursegmente oder Urwirbel zu werfen, welche zur inneren Ausbildung des Gesamtkörpers von allen Gebilden des Mittelblattes wohl am meisten beitragen. Die Ursegmente oder Urwirbel, welche anfänglich als solide Zellenmassen auftraten, zeigen bald einen ähnlichen Spaltungsvorgang, wie wir ihn in den Seitenplatten kennen gelernt haben. Es entsteht eine später sich wieder ausfüllende Höhle in jedem Urwirbel, deren obere Wand zu einem besonderen Gebilde, der Muskelplatte, wird, während der untere Teil als eigentlicher Urwirbel fortbesteht. In der Folge umwachsen diese „eigentlichen Urwirbel" die Chorda, den Achsenstab und das Rückenmark und zwar zunächst als häutige Gebilde. Bei der Umwachsung des Rückenmarkes durch die Urwirbel schiebt sich von letzteren aus eine dünne Hautschicht zwischen Rückenmark und Oberhaut ein und verwächst schließlich mit dem entsprechenden, von der entgegengesetzten Seite heraufwachsenden Hautgebilde. Von der Chorda wird zuerst die untere Seite umwachsen, später erst schiebt sich ein anfänglich dünnes, häutiges Blatt zwischen Rückenmark und Chorda. Am Kopfe sind die Umwachsungsvorgänge des Gehirns ganz den eben beschriebenen ähnlich, obwohl sich hier nur am Hinterkopf bis zu den dem Vorderkopf angehörenden Ohrbläschen als Grenze eine Segmentierung erkennen läßt. Auf diese Weise bildet sich zuerst eine zusammenhängende „häutige Wirbelsäule" mit zwei übereinander liegenden Hüllröhren. In der oberen Hüllröhre, der häutigen Wirbelsäule, liegt das Rückenmark, in der unteren die Chorda. Sehr rasch treten aber in dieser häutigen Wirbelsäule neue Gliederungen ein. Bald nach der Bildung der häutigen Wirbelsäule wird dieselbe zuerst knorpelig, indem anfänglich knorpelige Anlagen der Wirbelkörper und Wirbelbogen entstehen, welche zu den Ursegmenten eine alternierende Stellung einnehmen; später tritt an den typischen Stellen Knochensubstanz auf.

In Beziehung auf die übrigen Bildungen, welche aus den Urwirbeln hervorgehen, herrscht noch einiges Schwanken unter den Autoren. Man glaubte früher, daß auch Nervenstämme aus den Urwirbelanlagen sich bildeten. Es scheint nun aber wahrscheinlicher, daß die Nerven, welche sich mit den Urwirbelbildungen so früh vereinigt zeigen, als Auswüchse aus dem Rückenmark aufzufassen sind. So viel scheint aber gewiß, daß die Urwirbelanlagen, ebenso wie sie Chorda und Rückenmark umwucherten, auch in die Seitenwände der Fruchtanlage, in Brust- und Bauchwand, einwachsen und dadurch die Ursache der Muskel-, Knorpel- und Knochenbildungen in denselben werden.

*

Blicken wir noch einmal auf den Fruchtkörper zurück, soweit wir namentlich seine innere Entwickelung bis jetzt verfolgt haben.

Der ovale, in den Mittelpartien etwas eingeschnürt erscheinende flache Vorkörper erhebt sich durch allseitiges Flächenwachstum zunächst als eine schuh- oder kahnartige Falte von der Keimblase. In der Folge sondert er sich von ihr mehr und mehr und gestaltet sich zu dem Gesamtleibesrohr, welches durch eine anfänglich noch weite Öffnung, die Nabelöffnung, mit der

Keimblasenhöhle zusammenhängt. Im Inneren dieser Hauptleibesröhre haben wir mehrere Röhrengebilde entstehen sehen. Zuerst, noch ehe das Gesamtleibesrohr sich aus dem flächenhaften Vorkörper zu wölben begann, entstand die Gehirn-Rückenmarksröhre aus dem obersten Keimblatt, rückte durch die spezielle Art und Weise ihrer Entstehung unter das oberste Keimblatt und liegt nun, von dem letzteren vollkommen gedeckt, in dem Rücken der Fruchtanlage eingeschlossen. Mit der Ausbildung des Gesamtleibesrohres formt sich in dessen Innerem aus dem dritten Keimblatt das Darmrohr. Das mittlere Keimblatt bildete anfänglich häutige, später teilweise verknorpelnde und verknöchernde Röhren um das Gehirn-Rückenmarksrohr und den strangförmigen Vorläufer des Rückgrates, den Achsenstab, die Chorda dorsalis. Auch die Bildung des Gekröses sowie der röhrenförmig das Darmrohr umschließenden Stütz- und Bewegungsschichten geht ebenso wie die der den letzteren entsprechenden, unter der Oberhaut liegenden Schichten der Brust-Bauchwand von dem Mittelblatt aus.

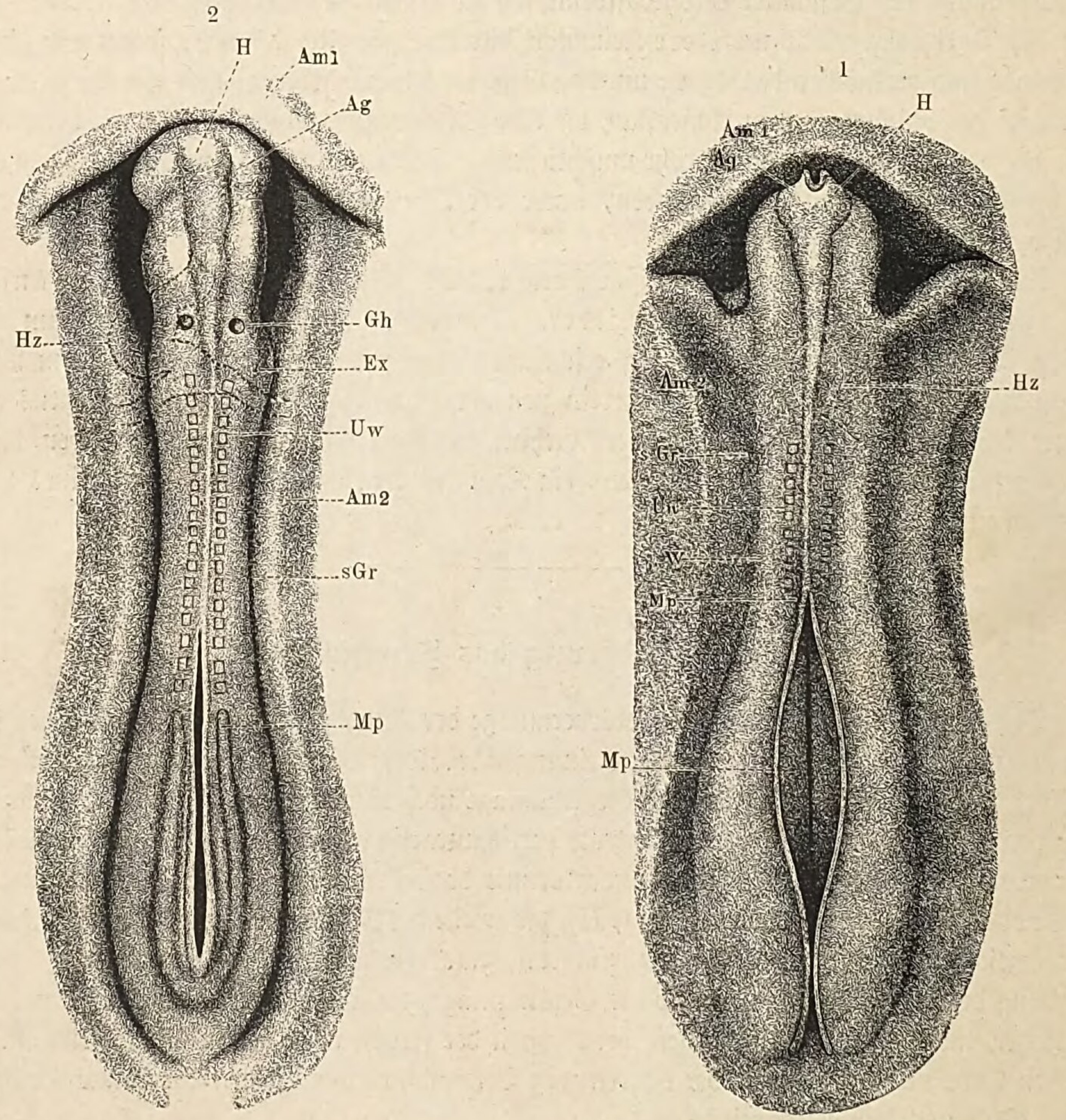
Auf diese Weise entsteht die plastische Form des Säugetier- und Menschenkörpers anfänglich ohne deutliche Bewegungsglieder. Der oberflächlichen Betrachtung kann sie in diesem Bildungsstadium wurmartig erscheinen, aber wie weit sie sich von einem Wurme und in Wahrheit auch schon von vornherein von der Bildung z. B. des Lanzettfischchens unterscheidet, lehrt uns die Thatsache, daß zuerst Gehirn und Kopf sich vorwiegend ausbilden, daß der Fruchtkörper zur Hälfte Kopf ist, während ein Kopf bei dem Lanzettfischchen zeit seines Lebens gleichsam nur angedeutet ist.

Äußere Gliederung des Fruchtkörpers.

Der größte Teil der anfänglichen Körperanlage der Frucht trifft, wie gesagt, auf den Kopf. Hier sind auch die äußeren Gliederungserscheinungen des Körpers von vornherein am auffallendsten. In jener Periode schon, in welcher die Gehirnanlage noch rinnenförmig offen steht, fanden wir sie in drei Abschnitte gegliedert, welche sich als perlschnurartig aufeinander folgende Erweiterungen des vorderen Teiles der Gehirn-Rückenmarksrinne darstellen. Die vorderste Erweiterung wird als Vorderhirn (s. Abbildung, S. 144, H), die zweite als Mittelhirn, die dritte als Hinterhirn bezeichnet; bald schließen sie sich zur ersten, zweiten und dritten Hirnblase. Mit der Erhebung der Gesamtkörperfalte wird die Gehirnanlage, welche zuerst sehr lang erscheint, scheinbar kürzer, indem sich, wie wir hörten, der Kopfteil der Frucht vorn nach abwärts krümmt. Am hinteren Ende verliert sich mit der eintretenden Verwachsung der Gehirn-Rückenmarksrinne zur Röhre die lanzettförmige Erweiterung.

Schon in diesem Entwickelungsstadium treten bei dem Menschen und den höheren Wirbeltieren in den ersten Anfängen die höheren Sinnesorgane, Auge (Ag) und Gehörorgan (Gh), auf; das allgemeine Gefühlsorgan, die Oberhaut, besteht von Anfang an als oberes Keimblatt. Am vorderen Teile des Gehirn-Rückenmarksrohres, am Vorderhirn und zwar an dessen unterer Seite, wachsen zwei blasenförmige Auswüchse hervor, es sind das die ersten Anlagen des nervösen Apparates der Augen, die primitiven Augenblasen. Haben sich etwa 15—17 Urwirbelpaare (Uw) abgegliedert, so erscheinen an der Fruchtanlage neben dem Hinterhirn auch die ersten Spuren der Gehörorgane als grubenförmige Einbuchtungen des oberen Keimblattes, welches die Körperanlage als primitive Oberhaut überkleidet. Diese Grübchen werden als Gehörgruben bezeichnet und wandeln sich bald durch Zusammenbiegen ihrer Ränder und schließliches Verwachsen derselben in Bläschen, die beiden Gehörbläschen, um, welche sich erst etwas später mit dem Gehirn in nervöse Verbindung setzen.

Nun treten jene schon erwähnten stärkeren Krümmungen der Körperanlage ein, welche am wesentlichsten zur Ausbildung des Gehirns beitragen. Man unterscheidet eine **Drehung der Körperanlage um ihre Querachse**. Es ist das jener Vorgang, infolge dessen sich der Leib nach der Bauchseite zusammenkrümmt und schließlich so stark sich biegt, daß sein Kopf das spitze Rumpfende, das Schwanzende, beinahe oder wirklich berührt. Diese Krümmung beginnt bei dem

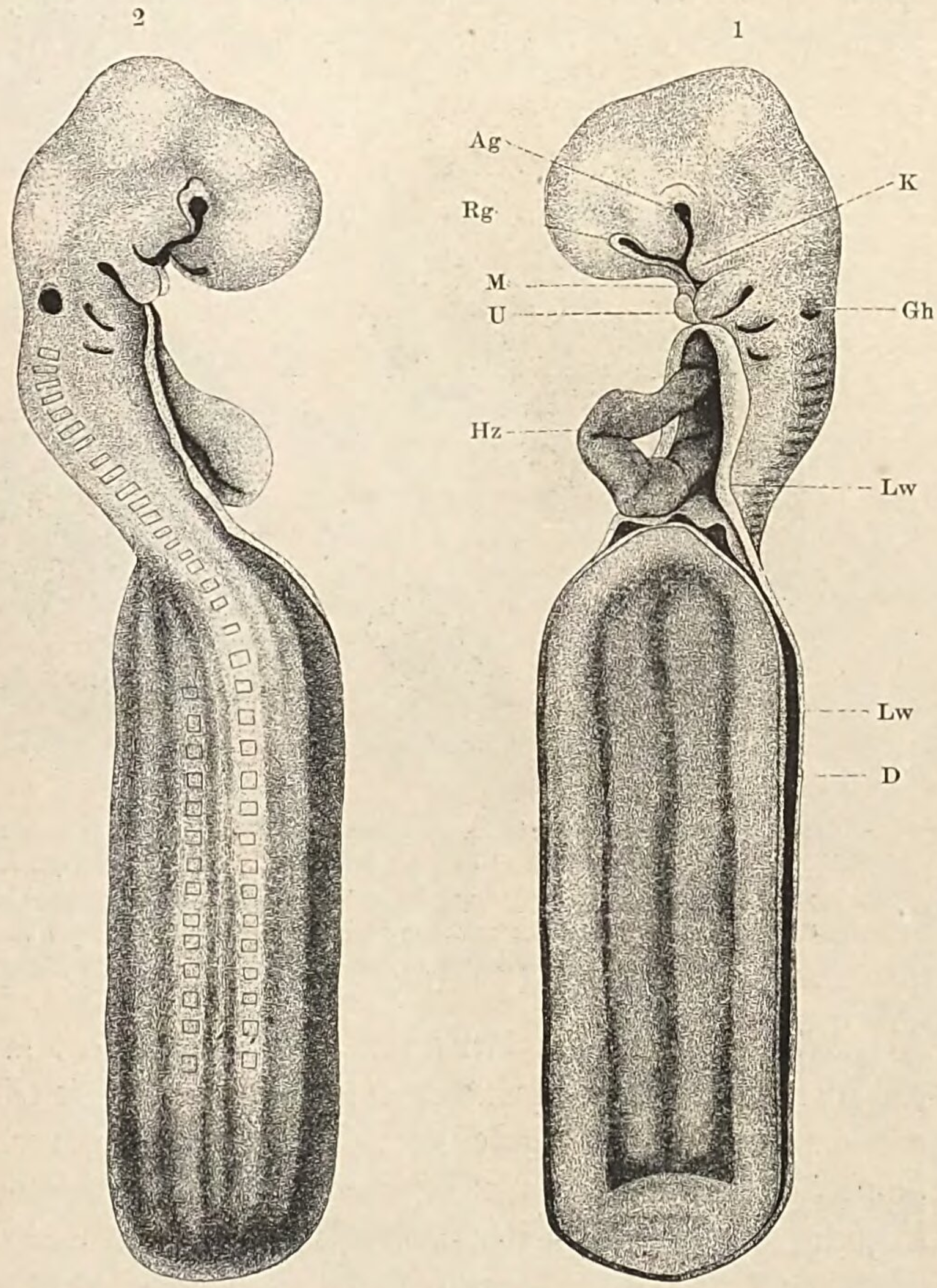


Körperanlage des Hühnchens: 1) vom zweiten Bruttage, 2) zwischen dem zweiten und dritten Bruttage; 20mal vergrößert (vgl. die Abbildungen, S. 135, 145 und 148).
sGr) seitliche Grenzrinne, Hz) Herz, Am 1 und Am 2) vordere und seitliche Amnionfalte, H) Gehirnanlage, Ag) Auge, Gh) Gehörorgan, W) Wolffsche Leiste, auf welcher sich (Ex) die Extremitäten entwickeln, Mp) noch offener Abschnitt der Gehirn-Rückenmarksrinne, Uw) Urwirbel.

Hühnchen schon am zweiten Bruttage; am Anfang des dritten Tages biegt sich der vordere Kopfteil im rechten Winkel abwärts, so daß nun die Gegend des Mittelhirnes als „Scheitelhöcker" den erhabensten Teil des Kopfes bildet. Dieser Vorgang wird als „vordere Kopfkrümmung" von einer „hinteren Kopfkrümmung" unterschieden, welche sich beim Hühnchen in der zweiten Hälfte des dritten und am vierten Tage einstellt und ebenfalls in einer rechtwinkeligen Abbiegung an der hintersten Grenze der Gehirnanlage, wo diese in das eigentliche Rückenmark übergeht (zwischen verlängertem Mark und Rückenmark), unter Bildung eines „Nackenhöckers" gipfelt. In ähnlicher Weise tritt ebenfalls schon am dritten Bruttag eine Abbiegung des hinteren Rumpf-

endes als „Schwanzkrümmung“ auf. Auch die Rückengegend der Fruchtanlage krümmt sich in dem gleichen Sinne, wenn auch weniger stark. Zu diesen Phänomenen der Drehung um die Querachse gesellt sich dann noch die ebenfalls schon erwähnte Drehung um die Längsachse, die sich in derselben Zeit ausbildet. Der Rumpf, und zwar namentlich und zuerst der Kopf legt sich normal auf die linke Seite.

Der Kopf behält die beschriebenen Krümmungen im wesentlichen bei, der übrige Fruchtkörper streckt sich nach einiger Zeit wieder gerade. Bei dem Hühnchen ist diese Streckung schon am sechsten Bruttag wieder nahezu vollkommen, und seine Bauchwand gewinnt zunehmend an Länge. Nun entwickelt sich der Kopf immer mehr, und allmählich bildet sich auch der Hals aus.

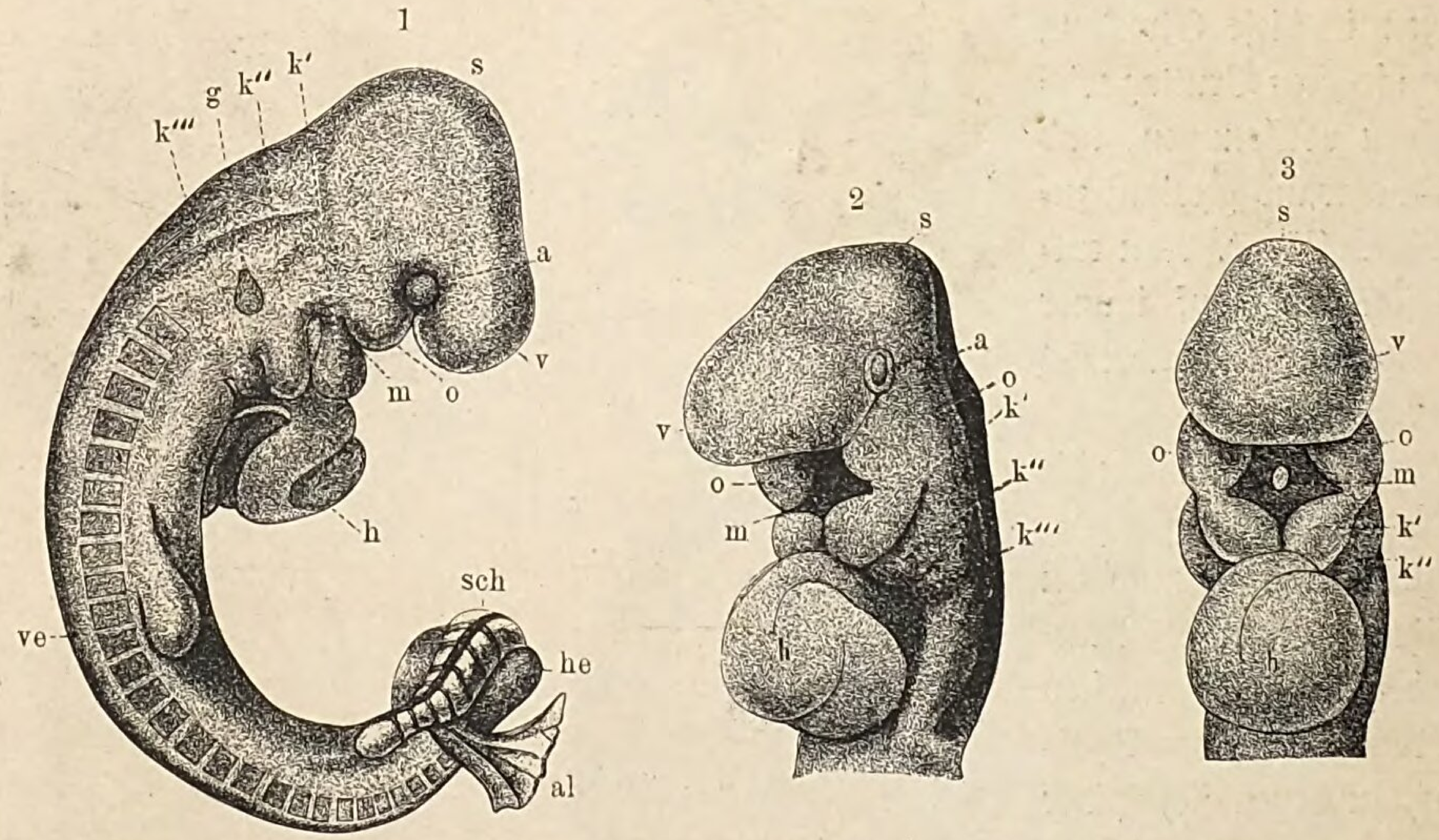


Körperanlage des Hühnchens vom dritten Bruttage; 20mal vergrößert: 1) Bauchansicht, 2) Rückenansicht (vgl. die Abbildungen S. 135, 144 und 148). Ag) Auge, Rg) Geruchsorgan, M) Mundöffnung, U) Unterkiefer, Hz) Herz, K) Oberkiefer, Gh) Gehörsorgan, Lw) Leibeswand, D) Darm.

Hier ergeben sich nun die bemerkenswertesten Phänomene. Es treten nämlich bei dem Hühnchen am dritten Bruttage in den beiden Seitenteilen der Halswand zuerst drei Spalten auf, zu denen sich später noch eine vierte gesellt, welche in den Schlund durchdringen und „Kiemen- oder Schlundspalten“ heißen. Sie entstehen dadurch, daß von innen her, also von der späteren Schlundhöhle aus, der Durchbruch der Halswand erfolgt. Mit der Bildung der Kiemenspalten am Halse geht das Auftreten der „Kiemenbogen oder Schlundbogen“ Hand in Hand; die letzteren sind nichts anderes als die zwischen den Spalten stehen bleibenden und sich namentlich nach vorn kolbig verdickenden Wandteile des Halses. Das Hühnchen besitzt vier Kiemenbogen: der erste liegt zwischen der Mundhöhle und der ersten Kiemenspalte, der letzte, der vierte, zwischen der dritten und vierten Kiemenspalte.

Bei den Säugetieren und Menschen finden sich ebenfalls Kiemenspalten und Kiemenbogen am Halse der Frucht, von den letzteren sind jedoch nur drei vorhanden. Der erste Kiemenbogen bildet mit dem rechtwinkelig abgebogenen Vorderkopf, indem er sich zum Teil an dessen untere Seite anlegt, eine erste Anlage der Mundhöhle (s. die Abbildungen, S. 146, 147, 148). Wir können an dem ersten Kiemenbogen einen kürzeren Oberkieferfortsatz unterscheiden, welcher sich, seitlich die primitive Mundhöhle begrenzend, an die untere Fläche des Vorderkopfes anlegt, und

einen längeren Unterkieferfortsatz, welcher gleichsam als provisorischer Unterkiefer die primitive Mundhöhle nach unten abschließt. Anfänglich sind die beiden Kiemenbogen mit ihren vorn kolbig angeschwollenen, sich gegeneinander neigenden Enden noch nicht verschmolzen. Zwischen diesen Teilen findet sich die primitive große Mundöffnung von rautenförmiger Gestalt. Sie ist in ihrer Tiefe noch mit einer zarten doppelschichtigen Haut verschlossen, die erst später, wie wir hörten, in den Anfang des Darmrohres durchbricht, und deren äußere Schicht von dem obersten Keimblatt gebildet wird, das die ganze Mundbucht auskleidet. Zwischen dem ersten und zweiten Kiemenbogen befindet sich die bei Säugetieren auch sehr gut ausgeprägte erste Kiemenspalte. Auch der zweite Kiemenbogen ist gut entwickelt, wogegen der dritte erheblich kürzer und unansehnlicher ist.



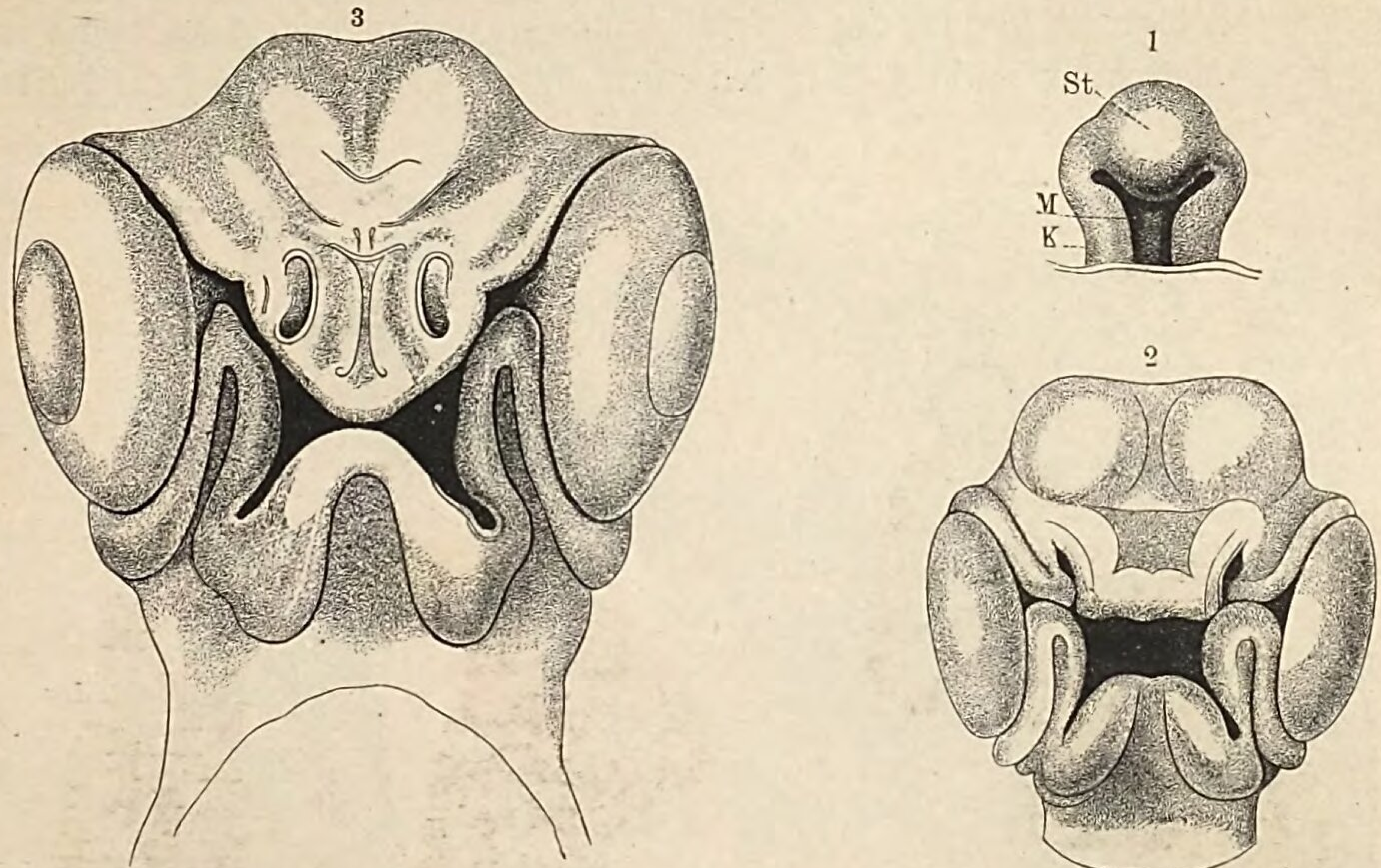
Entwickelung des Gesichts beim Kaninchen, 12mal vergrößert: 1) Frucht vom zehnten Tage, 2) von derselben Frucht der Kopf halb von der Seite, 3) derselbe Kopf von vorn und unten.

a) Auge, s) Scheitelhöcker, o) Oberkieferfortsatz des ersten Kiemenbogens, m) Mundgegend, k') erster, k'') zweiter, k''') dritter Kiemenbogen, g) Gehörorgan, ve) vordere Extremitätenanlage von Hand und Arm, he) hintere Extremitätenanlage, sch) schwanzförmiges Leibesende, aufwärts gebogen, al) Rest der abgeschnittenen Allantois, h) Herz, v) Vorderkopf.

Bei den Säugetieren bleibt von den Kiemenspalten, welche sich bei den Fischen in die dauernden gleichbenannten Bildungen umwandeln, nur die erste bestehen, welche sich vornehmlich zum äußeren Gehörgang gestaltet; die anderen verwachsen wieder. Ebenso bilden sich auch nur zum Teil die Kiemenbogen zu besonderen unterscheidbaren Bildungen um; teilweise werden sie knorpelig und verwandeln sich, indem sie zum Teil verknöchern, in gewisse länger oder ganz sich erhaltende Teile des erwachsenen Säugetier- und Menschenkörpers, vor allen in einen Knorpel (den Meckelschen Knorpel) am Unterkiefer, in die zwei niedlichen Gehörknöchelchen, den Hammer und Amboß, sowie in das Zungenbein und den Griffelfortsatz.

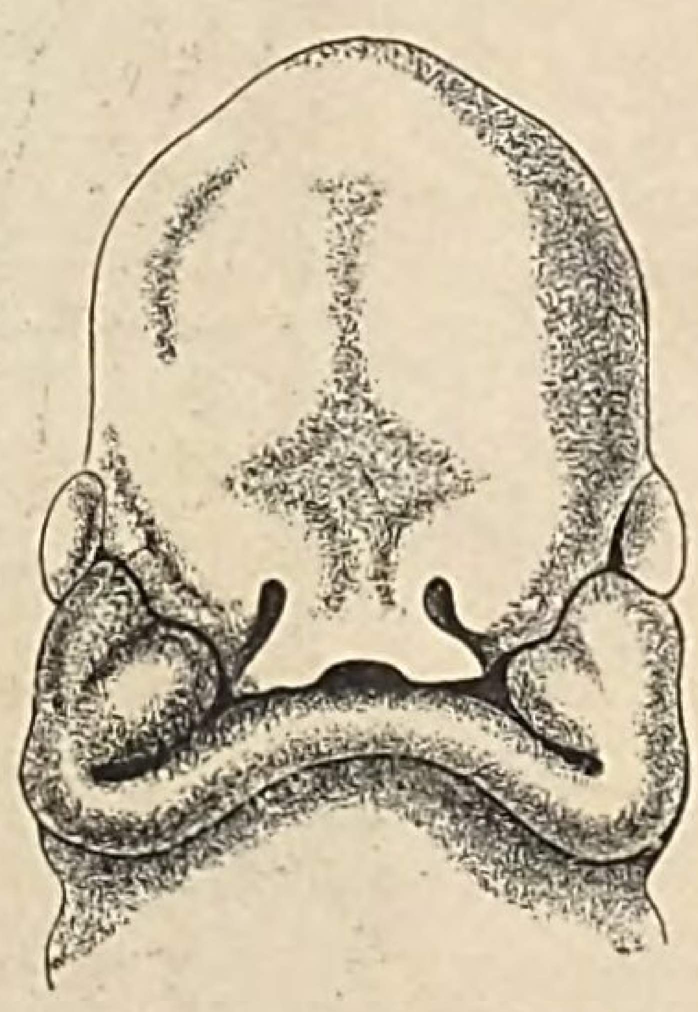
Aus den eben gegebenen Darstellungen ergeben sich uns einige Vorstellungen von der ersten Bildung der Mundöffnung, die bei dem Hühnchen (s. die obere Abbild., S. 147) am vierten Bruttage entsteht. Als erste Spur zeigt sich schon am zweiten Tage eine Einbuchtung der äußeren Körperfläche an der unteren Seite der Kopfanlage, die Mundbucht. Am dritten Tage hat sich annähernd jene Form erhalten, in welcher sie uns in dem letztbesprochenen Stadium entgegengetreten ist, seitlich begrenzt von den Oberkieferfortsätzen der beiden ersten Kiemenbogen, vorn von dem untersten Teile des Schädels, unten von den Unterkieferfortsätzen des ersten Kiemenbogens. Später zerfällt die primitive Mundhöhle durch Bildung einer von den beiden Oberkieferfortsätzen des ersten Kiemenbogens ausgehenden horizontalen Scheidewand, Gaumen, in einen oberen und

in einen mit diesem kommunizierenden unteren Abschnitt. Der untere ist die eigentliche Mundhöhle, der obere die Anlage der Nasenhöhle. Das **Geruchsorgan** entwickelt sich aber zunächst ganz unabhängig von der vereinigten Nasen-Mundhöhle in Form von zwei kleinen Grübchen, welche durch



Entwickelung des Gesichts beim Hühnchen. 8mal vergrößert.
1) Zwischen dem zweiten und dritten Bruttage: St) Stirnwulst, M) Mundbucht, K) Kieferleisten; 2) nach fünftägiger Bebrütung; 3) nach sechstägiger Bebrütung.

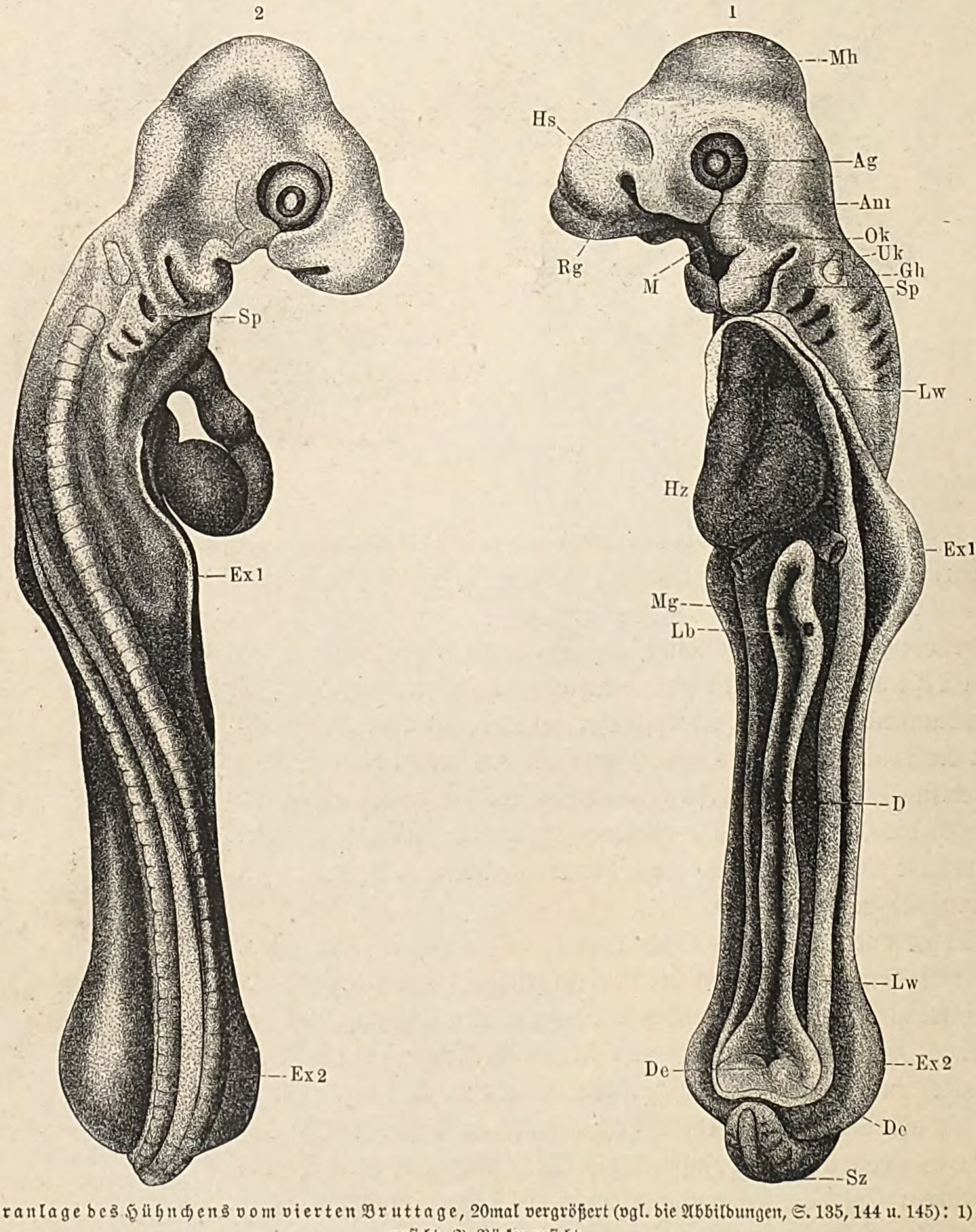
Faltenbildung des Oberhautblattes, analog wie die Gehörgrübchen, über der Mundspalte am vordersten Teile des Kopfes entstehen. Nach einiger Zeit vereinigen sich die Riechgrübchen, indem sie zu herablaufenden Furchen, Nasenfurchen, werden, mit dem oberen Abschnitt der primitiven Mundhöhle. Zwischen den beiden Nasenfurchen befindet sich der **Stirnfortsatz**, an dessen weitere Entwickelung sich wesentlich die Ausbildung des Gesichtes anschließt. Ähnlich gestaltet sich auch die Bildung des Gesichtes bei Säugetieren, z. B. Kaninchen (s. nebenstehende Abbildung).



Bildung des Gesichts beim Kaninchen am 14. Entwickelungstage. Vergrößert.

Arme und Beine, die Extremitäten, lassen sich in den ersten, höchst einfachen Formanlagen bei dem Hühnchen schon deutlicher erkennen, wenn der Leibesraum noch mit einer weiten Öffnung, mit der Keimblase, zusammenhängt. Beide Extremitäten erscheinen als ziemlich flache, ruderartige Erhebungen (Ex 1, Ex 2, S. 148). Zuerst treten sie als Verdickungen der Oberhautschicht an diesen Stellen auf und ragen schon in diesem Zustand als kleine Stummel hervor. Bei der weiteren Entwickelung wuchern in diese Anlagen Auswüchse der „Urwirbel“, wobei sich auch die Muskelplatte der letzteren beteiligt. Auch die Nerven wuchern in die Extremitätenanlage vom Rückenmark aus hinein und erscheinen im Anfang als unverhältnismäßig mächtige Bildungen. Erst nach und nach sehen wir die ruderförmig angelegten Extremitäten sich in der typischen Weise mehr und mehr gliedern. Hand, Handgelenk, Ellbogen werden deutlicher (s. die obere Abbildung, S. 149, Figur 2), an der Hand des Menschen trennen sich die zuerst wie von einem plastischen Künstler nur im Rohen angedeuteten Finger voneinander und von der als Ganzes angelegten Hand.

Eine nähere Betrachtung bedarf noch das **hintere Leibesende** (s. die obere Abbild., S. 149). Seine Bildung hat eine gewisse Ähnlichkeit mit jener des Kopfendes insofern, als auch hier infolge der Abhebung der Gesamtkörperfalte eine starke Abbiegung des Gehirn-Rückenmarksrohres erfolgt. Die Form des hinteren Leibesendes ist in den ersten Bildungsstadien der höheren Wirbeltiere

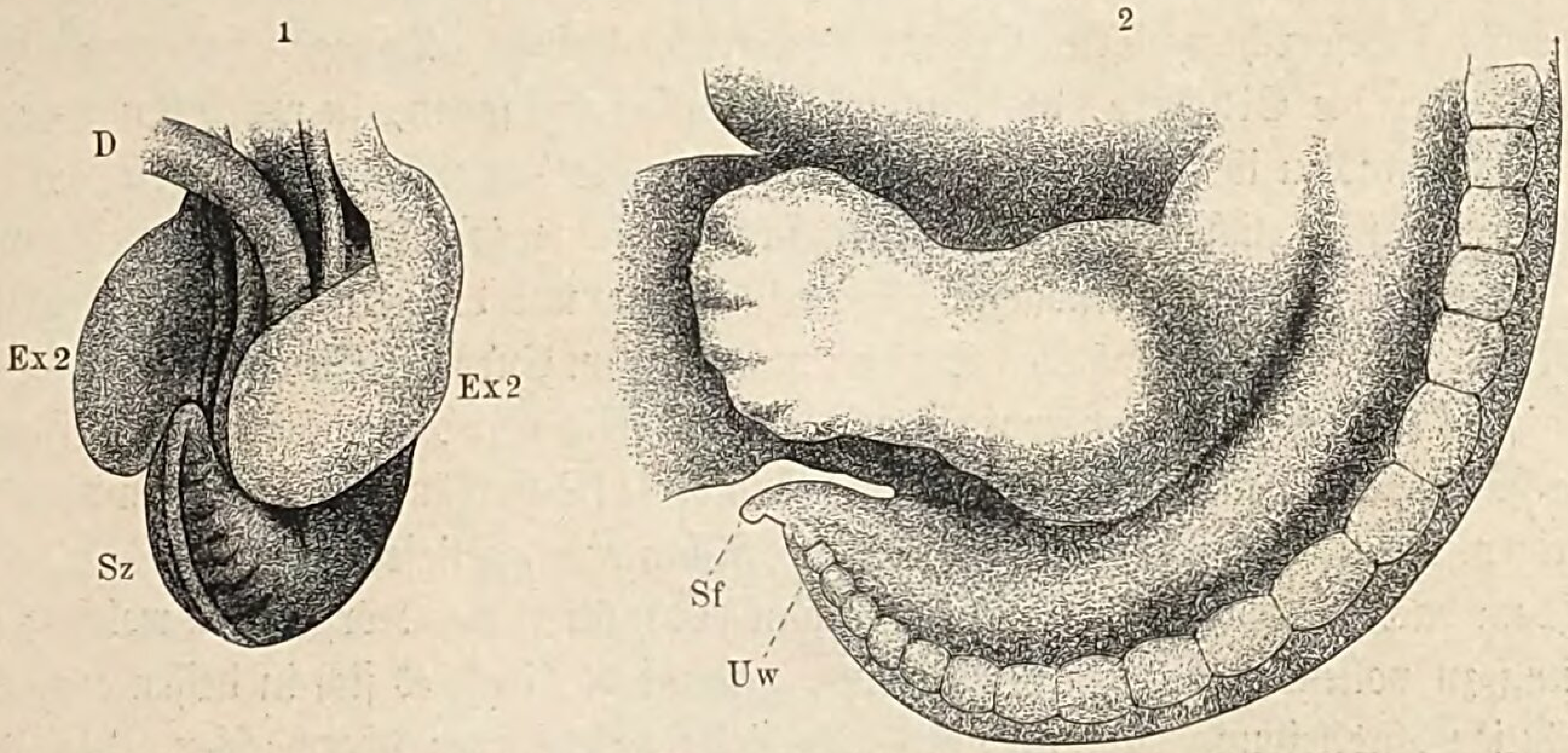


Körperanlage des Hühnchens vom vierten Bruttage, 20mal vergrößert (vgl. die Abbildungen, S. 135, 144 u. 145): 1) Bauchansicht, 2) Rückenansicht.

Mh) Scheitelhöcker, Hs) Stirnwulst, Ag) Auge, Anr) Augen-Nasenrinne, Ok) Oberkieferfortsatz und Uk) Unterkieferfortsatz des ersten Kiemenbogens, Sp) oberste Kiemenspalte, Gh) Gehörorgan, Rg) Geruchsorgan, M) Mundöffnung, Lw) Leibeswand, Hz) Herz, Mg) Magen, Lb) Leber, D) Darm, De) Darmende, Ex1 und Ex2) Anlage der oberen und unteren Extremität, Sz) schwanzförmiges Leibesende.

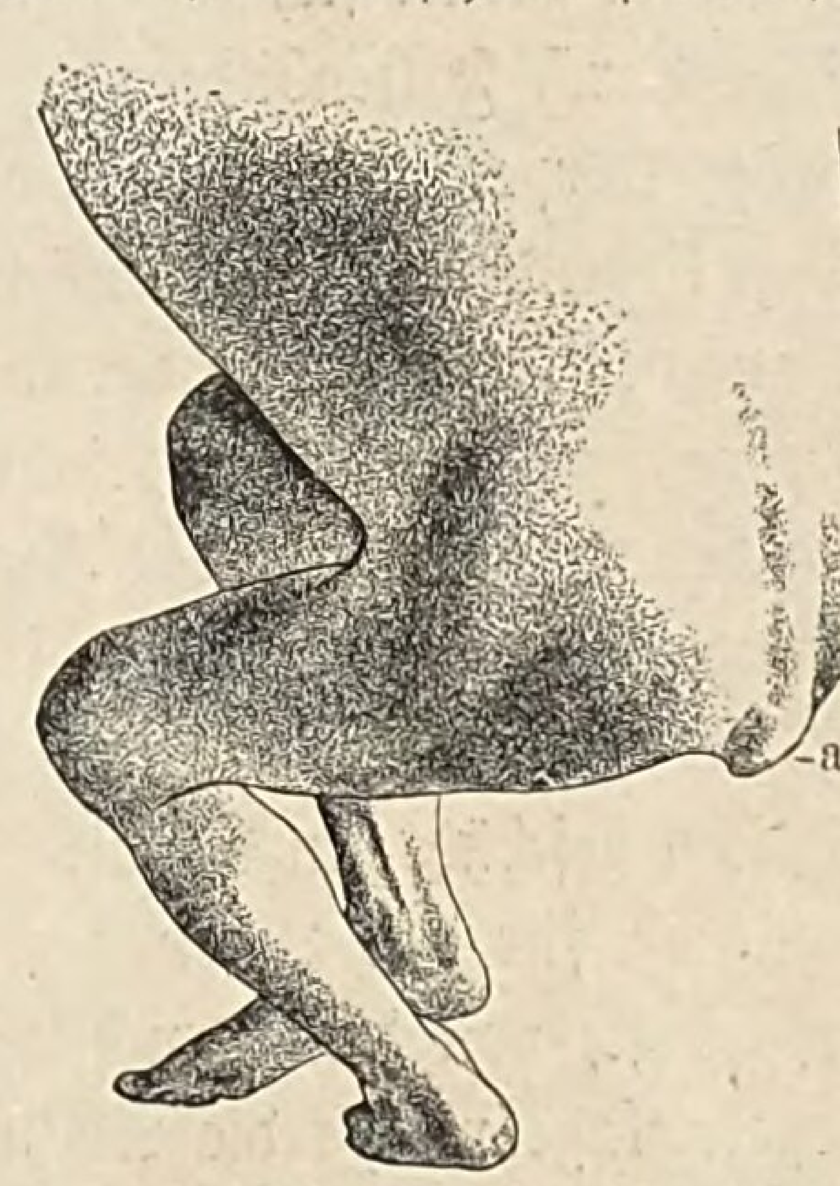
und des Menschen, namentlich vor Ausbildung der hinteren Extremitäten und des sie tragenden Knochengürtels, des Beckens, eine wesentlich andere als bei der entwickelten Leibesform. Das Körperende geht **schwanzartig** spitz zu und endigt zeitweise in einen häutigen Faden. Da das sich verschmälernde hintere Körperende gegen die Bauchfläche der Frucht zu gebogen ist, so erinnert es äußerlich an einen Schildkrötenschwanz, eine Ähnlichkeit, welche noch dadurch gesteigert wird,

daß die ersten Anlagen zu den Beinen ziemlich hoch über dem Ende dieses schwanzförmigen Leibesendes sich ansetzen. Bei näherer Untersuchung ergibt sich aber, daß der größte Teil dieser schwanzförmigen Bildung nichts anderes ist als der noch nicht durch die Beckenentwickelung erweiterte und verbreiterte bleibende untere Teil des Rumpfes. Biegen wir das schwanzähnliche Leibesende



1) Schwanzende des Leibes vom Hühnchen am fünften Bebrütungstage: D) Darm, Ex2) Anlage der hinteren Extremität, Sz) Schwanzende; 2) Schwanzende von einer menschlichen Frucht: Sf) Schwanzfaden, Uw) Urwirbel. Vergrößert.

auf, so bemerken wir sofort, daß es beinahe bis zu seiner Spitze von dem Verdauungsrohr durchbohrt wird, welches fast direkt unter der letzteren mündet. Das die hintere Leibesöffnung überragende spitze Körperende ist teils wirbelhaltig, teils wirbellos. Der erstere Abschnitt formt sich in der Folge zu dem auch beim Menschen so genannten Schwanzbein; der wirbellose Abschnitt, der Schwanzfaden, enthält eine Fortsetzung der bei allen Säugetieren, auch bei denen mit langem Schwanze, von Anfang an „zu lang“ angelegten Rückensaite, der Chorda dorsalis, und des Rückenmarksrohres. Während der Rest schwindet, knäuelt sich die Chorda, wie es scheint, normal zu einem Knötchen auf. Erfolgt die mehrfach erwähnte Streckung der Frucht, so stellt sich das Ende der nun vollständig angelegten Wirbelsäule gerade, und zwar so steil, daß sie auch noch nach der Entwickelung der Beine als ein kleiner, an einen Stummelschwanz erinnernder Höcker am hinteren Rumpfende vorspringt. Dieses „Steißhöckerchen“ schwindet erst dadurch, daß das Wirbelsäulenende eine bleibende Einwärtskrümmung erleidet. Eine anatomische Rückbildung eines etwa auch bei dem Menschen länger angelegten Schwanzes tritt also nicht ein, das scheinbare Verschwinden des knöchernen schwanzförmigen Leibesanhanges beruht wesentlich auf seiner Einwärtskrümmung.



a) Steißhöckerchen der Menschenfrucht. Vergrößert.

Wie schon oben angedeutet, ist ebensowenig wie die obere die untere Öffnung des Verdauungsrohres von vornherein vorhanden. Wir haben oben den Durchbruch der anfänglich gegen den Schlund, den Anfang der Verdauungsröhre, abgeschlossenen Mundhöhle in die letztere kennen gelernt; in ähnlicher Weise erfolgt auch der Durchbruch der Auswurfsöffnung der Verdauungsröhre erst im Verlauf der Körperentwickelung bei dem Menschen, wie es scheint, zwischen der dritten und vierten Woche des Fruchtlebens.

Die Eihäute und der erste Kreislauf des Blutes.

Die Bildungsgeschichte der inneren Organe, des Herzens, der Lungen, der Leber und anderer, wird uns erst bei Besprechung dieser Organe beschäftigen können. Dagegen haben wir hier noch einige Worte über die Eihäute, die hautartigen Hüllen, zu sagen, in welchen wir die weiterentwickelte Frucht bis zu ihrem Heraustreten zum äußeren Leben eingelagert finden.

Das Ei ist anfänglich nur von der durchsichtigen Zone geschützt, die sich mehr und mehr verdünnt, je größer das Ei heranwächst. Die relativ feste und dicke Umhüllung des Säugetier- und des Menschen-Eies in den späteren Stadien und bis zum Ende der Eientwickelung wird durch Verdickungsschichten der Eihülle hervorgebracht, welche teils von dem mütterlichen Organismus (hinfällige Haut oder „Decidua"), teils von der Keimblase (Schafhäutchen oder „Amnion"), teils von dem eigentlichen Fruchtkörper (Harnsack oder „Allantois") geliefert werden.

Nachdem das befruchtete Ei in das Hohlorgan des mütterlichen Körpers, in welchem es seine Entwickelung zu vollenden hat, in den Uterus, gelangt ist, senkt es sich in dessen aufgelockerte, weiche, häutige Auskleidung ein und wird von dieser vollkommen überwachsen. Bei der Vergrößerung des Eies wird seine auf diese Weise von dem Mutterkörper gelieferte Umhüllung mit ausgedehnt, und indem sie mit dem Ei wächst, bleibt das ganze, endlich mächtig entwickelte Ei mit Ausnahme der anfänglichen Anlagerungsstelle desselben an die Uteruswand von dieser mütterlichen Hüllhaut, der Decidua, umkleidet. Die Bildung des von der Keimblase gelieferten Amnions deutet sich schon in den ersten Entwickelungsstadien an, in welchen sich die Körperanlage durch Faltenbildungen innerlich gliedert und von der Keimblase abhebt. Um die leierförmige Körperanlage erkennen wir eine Randfurche, umgeben von einer außerhalb der Körperanlage liegenden Randfalte, Amnionfalte, welche ganz ähnlich wie die Erhebung und Verwachsung der auf der Rückenfläche der Körperanlage sich bildenden Markrinne stattfindet, sich um die ganze Körperanlage erhebt und, indem sie über derselben verwächst, diese in einen sich mit Flüssigkeit füllenden Blasenraum, das Amnion, einschließt. Indem der Rest der Keimblase mehr und mehr schwindet und das Amnion sich ausdehnt, bildet dieses zuletzt die innere Hauptauskleidung der Eihöhle. Der sich entwickelnde Körper schwimmt, vor äußeren mechanischen Einwirkungen dadurch möglichst geschützt, in der die Amnionhöhle vollkommen erfüllenden Flüssigkeit. Außerordentlich wichtig ist für das Leben der sich ausbildenden Leibesfrucht eine dritte Blasenbildung, welche, wie gesagt, von dem Fruchtkörper selbst ausgeht, die Allantois. Aus der hinteren Höhle der Körperanlage wächst die Allantois hervor und steht mit dem Endstück des Verdauungsrohres in Verbindung. Die Allantois wird zu einer größeren, außerhalb der Körperanlage zwischen dem Rest der Keimblase, dem Dottersack und dem Amnion gelegenen gestielten Blase, welche endlich die Eiwand erreicht und von dieser Stelle aus im Inneren über die letztere hinwächst. Die große Bedeutung erhält die Allantois für das Leben der Frucht dadurch, daß sie die Trägerin jener Blutgefäße der Körperanlage (der Nabelgefäße) ist, mit deren Hilfe diese mit dem Mutterkörper in Verbindung tritt.

Der „erste Kreislauf" (s. Tafel „Erster Blutkreislauf im Fruchthof eines Kanincheneies". — „Entwickelungsstadien des Menschenherzens") des sich entwickelnden Säugetier- und Menschenkörpers gehört diesem allein und ganz eigentümlich an. Im Anfang sind die Verhältnisse denen im Vogel-Ei entsprechend. Es bildet sich im Bereich des die Körperanlage auf der Keimblase umgebenden Fruchthofes ein zierliches, in sich geschlossenes Netz von Blutgefäßen, welches einen runden Hof um den in der Mitte liegenden Fruchtkörper darstellt. Im Vogel-Ei bleibt dieser Kreislauf bestehen. Die Säugetierfrucht muß dagegen zu ihrer weiteren Entwickelung in

nähere Verbindung mit dem Mutterkörper treten, um aus diesem, und zwar aus dem Blute desselben seine Nahrung zu saugen. Das vermitteln nun die Gefäße der Allantois.

Wir haben schon oben bemerkt, daß sich an der häutigen, anfänglich nur von der durchsichtigen Zone gebildeten Hülle des sich entwickelnden Eies bald Wärzchen bilden, welche sich dann zu verästelten, ziemlich langen, dünnen Zöttchen umwandeln. Im späteren Verlauf des Eilebens verschwinden diese Zöttchen, die anfänglich das ganze Eichen überkleiden, an dem größten Teil seiner Oberfläche wieder; dagegen entwickeln sie sich an jener Stelle, an welcher das Ei, wie gesagt, von Anfang an direkt an der Uteruswand anliegt, immer stärker. In diese Zotten wachsen die von dem Fruchtkörper ausgetretenen Allantoisgefäße ein und senken sich mit ihnen in die Uteruswand wie Wurzeln einer Pflanze ein. Indem der Mutterkörper an derselben Stelle unter dem Einfluß der mechanischen Reizung der einwachsenden Zottenwürzelchen blutreicher wird und namentlich zahlreiche Blutgefäße ausbildet, entsteht aus den Zotten des Eies und den vom mütterlichen Körper gelieferten Bildungen jenes wunderbare Organ, die Placenta, der Mutterkuchen, welchen wir oben als das Ernährungs- und Atmungsorgan der Frucht während ihres Eilebens bezeichneten. Die Zottenwürzelchen wachsen, jedoch ohne daß eine offene Verbindung der mütterlichen und kindlichen Blutgefäße eintritt, in die mütterlichen Blutgefäße der Placenta hinein; sie schöpfen aus diesen durch Diffusion Nahrungsmaterial und Sauerstoff und geben an das mütterliche Blut Zersetzungsprodukte und vorzüglich Kohlensäure ab. Von dieser Stelle aus versorgt also der Mutterkörper die Frucht mit den Stoffen, welche dieselbe zum Aufbau ihrer Organe wie zu den übrigen Lebensäußerungen nötig hat. Denn das ist kein Zweifel, die Frucht lebt von Anfang an, und die Mehrzahl ihrer Organe entfalten, so wie sie sich nach und nach ausbilden, immer vollkommener schon die Lebensthätigkeiten, welchen sie während des freien Lebens des Körpers vorzustehen haben. Keins der Organe zeigt dieses Leben deutlicher als das Herz, welches in sehr frühen Stadien seiner Bildung schon schlägt (s. die beigeheftete Tafel) und die rhythmische Folge der Bewegungen erkennen läßt, die das Blut in den neugebildeten Adern umhertreiben und für das Leben und die Entwickelung des Fruchtkörpers nicht weniger von Bedeutung sind als für den fertig gebildeten Organismus. Dagegen ist das später zur Luftaufnahme bestimmte Atmungsorgan, die Lunge, solange der Fruchtkörper in der Amnionflüssigkeit schwimmt, natürlich noch nicht zu benutzen. In dieser Zeit vertreten ihre Stelle die gefäßreichen Zottenwürzelchen, welche der Fruchtkörper in den Blutstrom der Mutter eingesenkt hat, und welche hier aus der mit Sauerstoff gesättigten mütterlichen Lebensflüssigkeit, wie die freien, ganz ähnlich gestalteten Kiemen vieler Wassertiere, den für den Fortgang des Fruchtlebens notwendigen Sauerstoff durch Diffusion in sich eintreten und auf demselben Wege die Kohlensäure austreten lassen.

Auf der beigegebenen Tafel „Die Entstehung der Eihüllen der menschlichen Frucht“ sind fünf verschiedene Stadien der Bildung der Fruchthüllen, welche wir eben beschrieben haben, schematisch dargestellt. Die erste Figur stellt innerhalb der als schwarze Ringgrenze dargestellten durchsichtigen Zone die doppelschichtige, im Fruchthof dreischichtige Keimblase dar. Außer der Zone sind auch das Mittelblatt und die von ihm im Fruchthof ausgehenden oberen häutigen Bildungen, die Hautfaserplatte, schwarz. Das oberste Keimblatt ist gelb, das dritte, unterste blau. Die blutgefäßtragende Darmfaserplatte des Mittelblattes ist rot. In der zweiten Figur sehen wir den schuhförmig von der Keimblase, dem Dottersack, sich abhebenden Fruchtkörper; die Amnionfalte, welche ihn bald ganz einschließen soll, erhebt sich, die Verbreitung der roten Linie auf der Keimblase deutet die Ausbreitung der diese umwachsenden Blutgefäßschicht an. In der dritten Figur nähern sich die Amnionfalten dem Verwachsen, der Fruchtkörper schnürt sich von der Keimblase, dem Dottersack, mehr und mehr ab, an seinem hinteren Leibesende tritt die noch kleine, blutgefäßführende Allantoisblase hervor. In der vierten Figur sind Zotten auf der

Eioberfläche aufgetreten, die Amnionblase hat sich vollkommen über dem Fruchtkörper geschlossen, der Dottersack erscheint kleiner, während Amnionblase und Allantois gewachsen sind. Mund- und hintere Darmöffnung haben sich gebildet. Die Öffnung, der Nabel, durch welche der Fruchtkörper mit dem Dottersack in Verbindung steht, ist schon eng geworden, und die Bildung einer strangförmigen Verlängerung an der Bauchseite des Fruchtkörpers, des Nabelstranges, hat begonnen. In der fünften Figur, in welcher der Fruchtkörper nicht mehr im schematischen Durchschnitt erscheint, hat die Allantois die innere Eiwand erreicht, ihre Gefäßschicht ist um diese herum- und ihre Gefäße sind in die Zotten eingewuchert. Der Dottersack hat sich außerordentlich verkleinert, sein Material ist aufgebraucht, und er gestaltet sich nun zu einem sehr unscheinbaren Gebilde. Durch die einen Strang bildende Allantois ist der Fruchtkörper an der inneren Eiwand angewachsen, an dieser Stelle entwickelt sich der Mutterkuchen, die Placenta, und der Allantoisstrang mit seinen Blutgefäßen bildet die Hauptgrundlage des Nabelstranges. Die Amnionblase schließt den Fruchtkörper vollkommen ein, und indem sie wächst, füllt sie mehr und mehr den inneren Eiraum aus, in welchem sich, wie im Amnion, eiweißhaltige, wässerige Flüssigkeit befindet.

Ähnlichkeit und Unähnlichkeit der sich entwickelnden Wirbeltiere.

Das allgemeine Bildungsgesetz der animalen Organismen spricht sich auch in einer unverkennbaren Ähnlichkeit der Körperbildung der Wirbeltiere in den ersten Stadien ihrer Körperentwickelung aus. Für eine oberflächliche Betrachtung sind die Ähnlichkeiten so groß, daß die Unterschiede dagegen zu verschwinden scheinen. Um eine Vorstellung von dem Grade der Ähnlichkeiten und Unähnlichkeiten zu gewinnen, stellen wir Früchte von dem gleichen Entwickelungsalter nebeneinander. Wir verdanken W. His eine Anzahl von höchst exakt in der gleichen Vergrößerung ausgeführten Abbildungen gleichalteriger Früchte vom Menschen, von verschiedenen Säugetieren und dem Hühnchen, von welchen wir hier (S. 153) die Abbildungen von Mensch, Schwein und Huhn nebeneinander stellen.

Die Früchte sind im mittleren Stadium der Ausbildung. Der Kopf ist ziemlich entwickelt, und die Extremitäten beginnen sich zu gliedern. Am wenigsten spricht sich das bei der Abbildung vom Schweine aus, welches sonach in der Entwickelung etwas weiter zurück, d. h. also relativ etwas jünger sein mag als die beiden anderen. Bei allen drei Früchten zeigt der Kopf die uns wohlbekannten charakteristischen Krümmungen, wodurch er aus seiner anfänglich gestreckten Röhrenform sich gewissermaßen hufeisenförmig abbiegt. Der Rücken ist im Bogen gekrümmt, das schwanzförmige hintere Leibesende steigt vor der unteren Bauchfläche empor. Durch die äußere Bedeckung hindurch machen sich am Kopfe die Hauptabteilungen des Gehirns bemerklich; Auge und Gehörblase sind nicht zu verkennen. Zum Auge steigt vom Mund-Nasenraum her eine noch offene Spalte auf, die später zur Röhre sich schließende Augen-Nasenrinne. Weiter nach vorn, in der Stirngegend, liegt die eine der Riechgruben, welche sich rinnenförmig nach abwärts verlängert. Zwischen Riechgrube und Auge, von der Augen-Nasenrinne unten begrenzt, befindet sich der dreieckig gestaltete seitliche Stirnfortsatz, dahinter folgt der breite Oberkieferfortsatz, welcher sich bis zur queren Mundspalte erstreckt. Hinter dem Munde erkennen wir den Unterkieferfortsatz, an welchem bei der menschlichen Frucht schon ein Lippenteil sich deutlich macht. Nun folgen drei deutliche Schlundspalten mit den entsprechenden Schlundbogen. Am Rücken erkennen wir bei beiden Früchten durch die Haut hindurch die Gliederung der Ursegmente. Die Bauchfläche ist stark gewölbt, und namentlich bei dem Schweine sehen wir die Umrisse der Leber und des Herzens

Die Entstehung der Eihüllen der menschlichen Frucht.

(1—4 die Frucht in schematischem Längsschnitt.)

I. Keimblatt, gelb.
II. - rot, die Darmfaserplatte und Gefässschicht rot punktiert.
III. - blau.

Die Eihaut ist ohne Zotten schwarz, mit Zotten gelb dargestellt.

Fig. 1. Keimblase im Fruchthof dreischichtig, sonst zweischichtig.

Fig. 2. Der Dottersack und das Amnion sind in Bildung begriffen. Fruchtkörper im Durchschnitt. Die rot punktierten Linien repräsentieren die Verbreitung der Blutgefässe im Fruchthof.

Fig. 3. Das Amnion schliesst sich, die Allantois sprosst hervor.

Fig. 4. An der äussern Eihaut, an deren Bildung sich nun wesentlich der Rest des äussern Keimblatts der Keimblase beteiligt, sprossen Zotten hervor, die Allantois ist gewachsen, der Dottersack verkleinert, der Nabelgang schliesst sich mehr und mehr, Mund und hintere Leibesöffnung haben sich gebildet.

Fig. 5. Fruchtkörper, von der Seite gesehen. Der Nabelstrang hat sich gebildet, die Blutgefässe des Fruchtkörpers sind mit der Allantois an die Innenwand der äussern Eihaut gelangt und sind in die Zotten eingewuchert. Die Amnionhöhle vergrössert sich, die Nabelblase verkümmert.

Fig. 1.

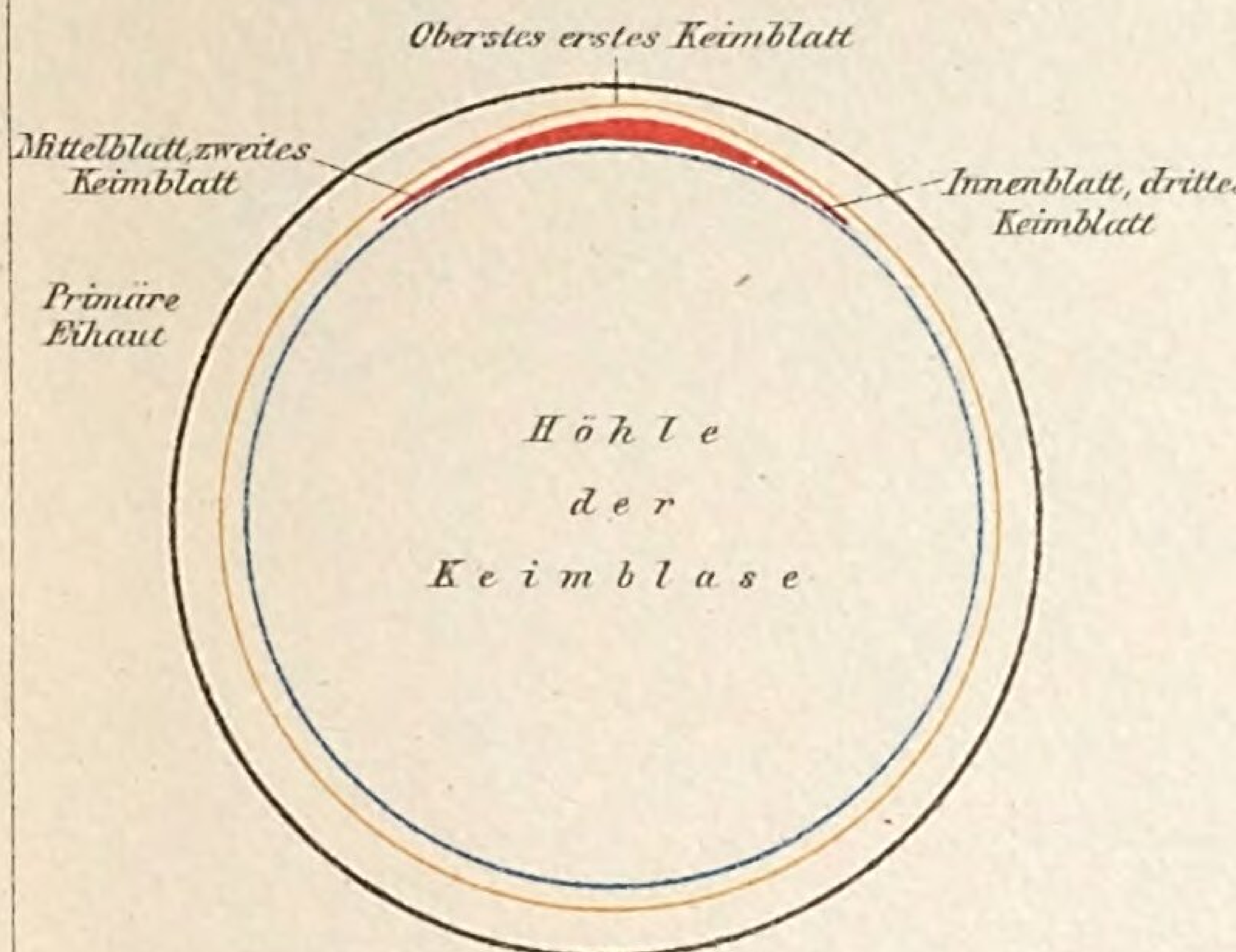


Fig. 2.

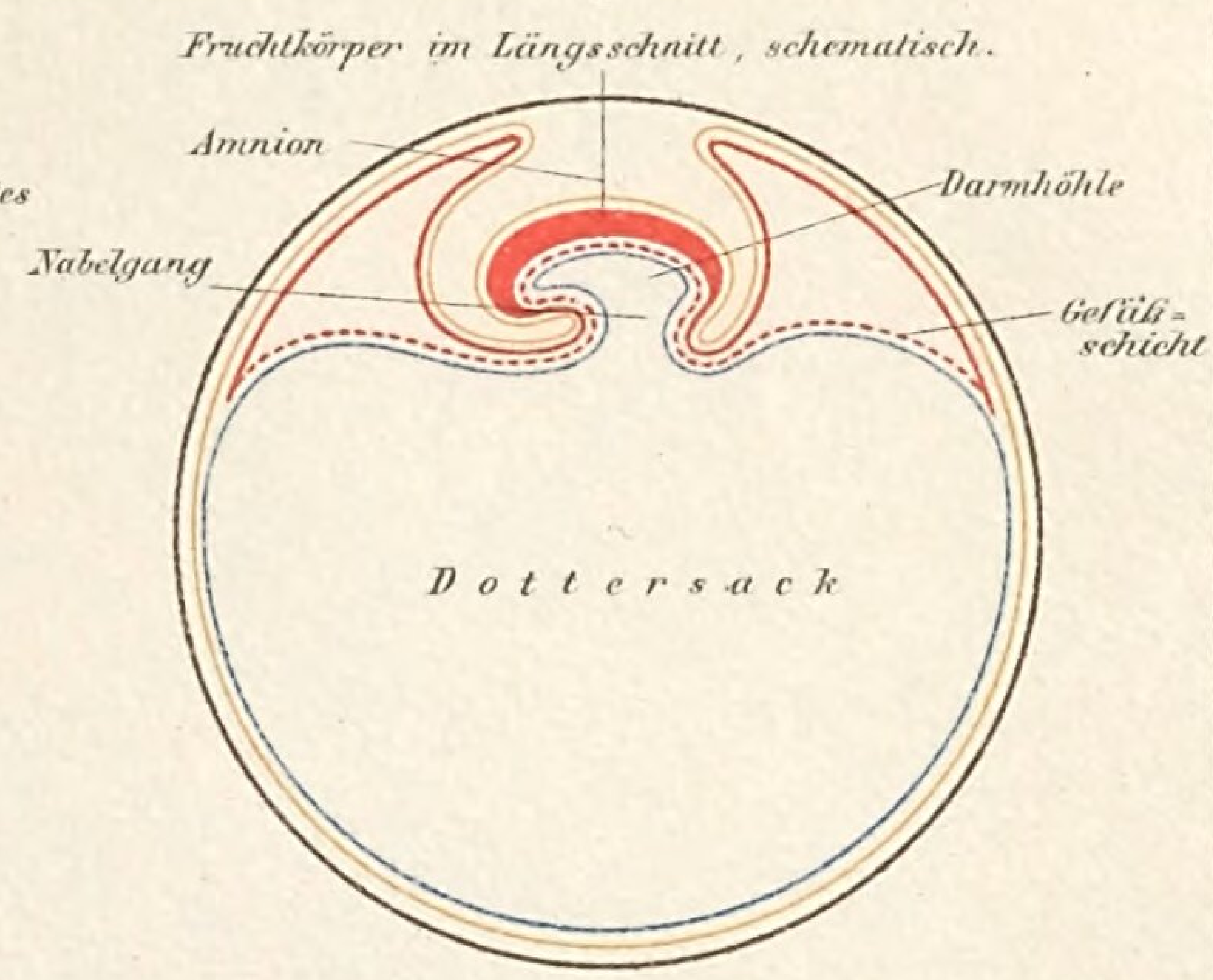


Fig. 3.

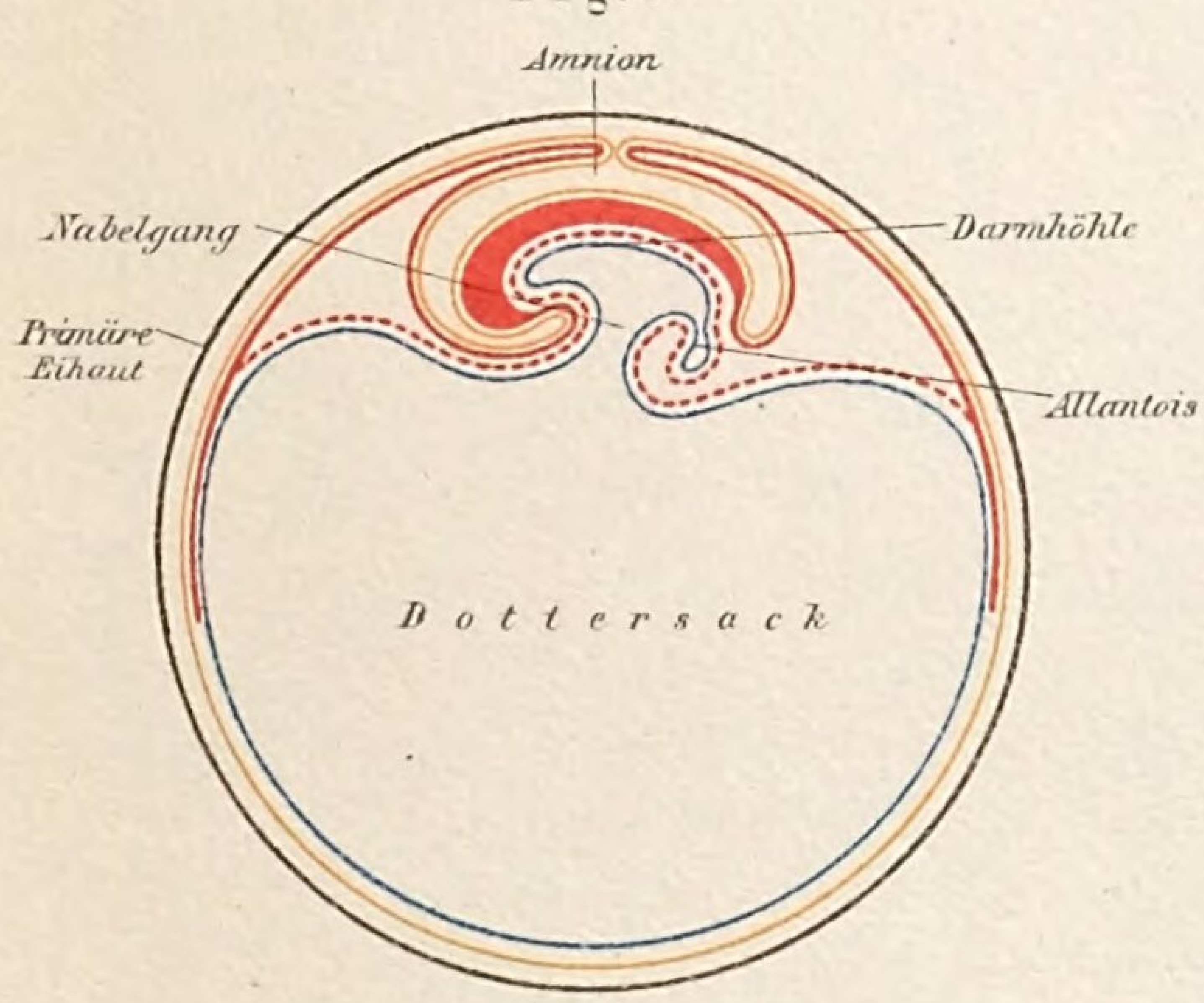


Fig. 4.

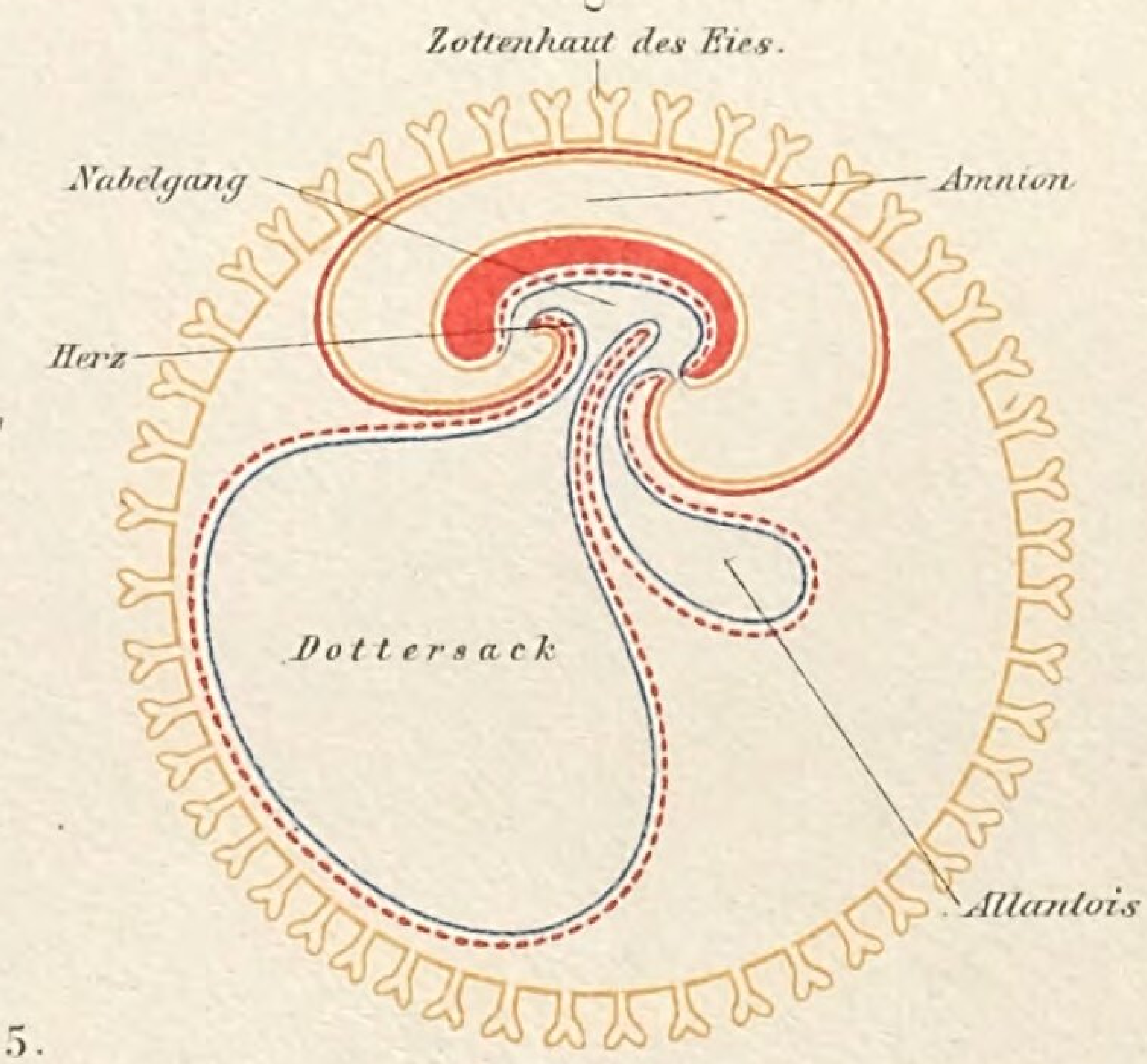
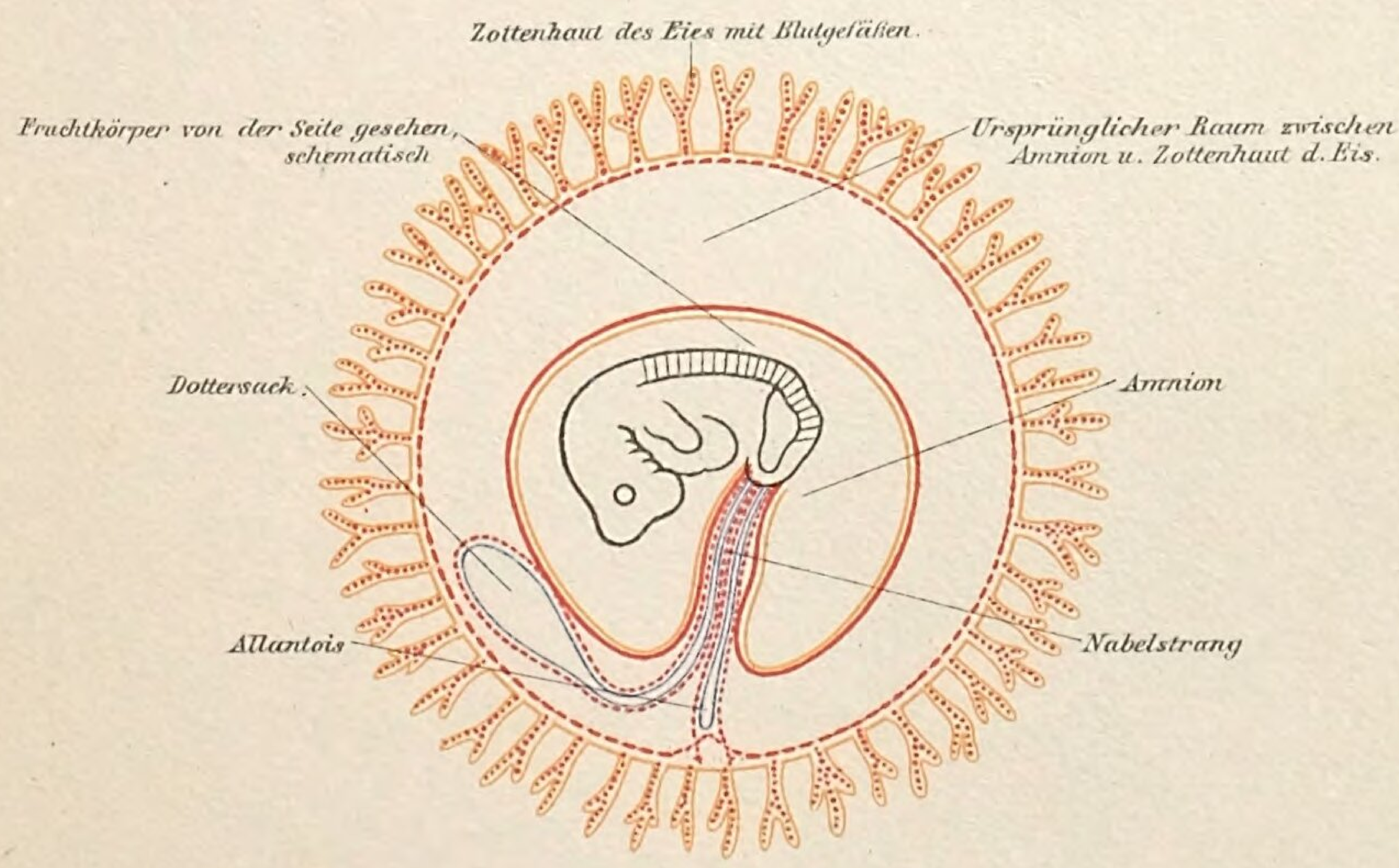
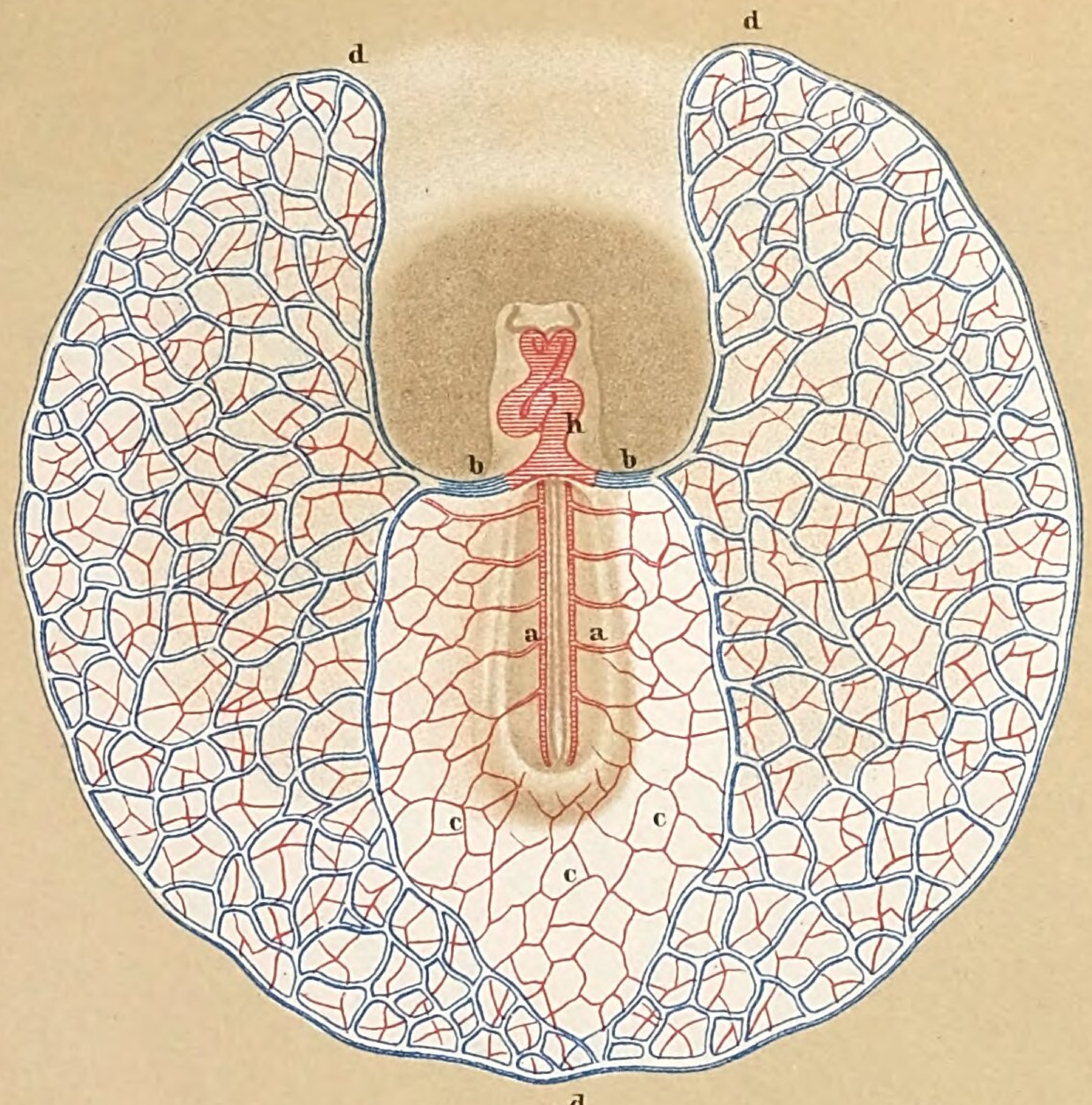


Fig. 5.

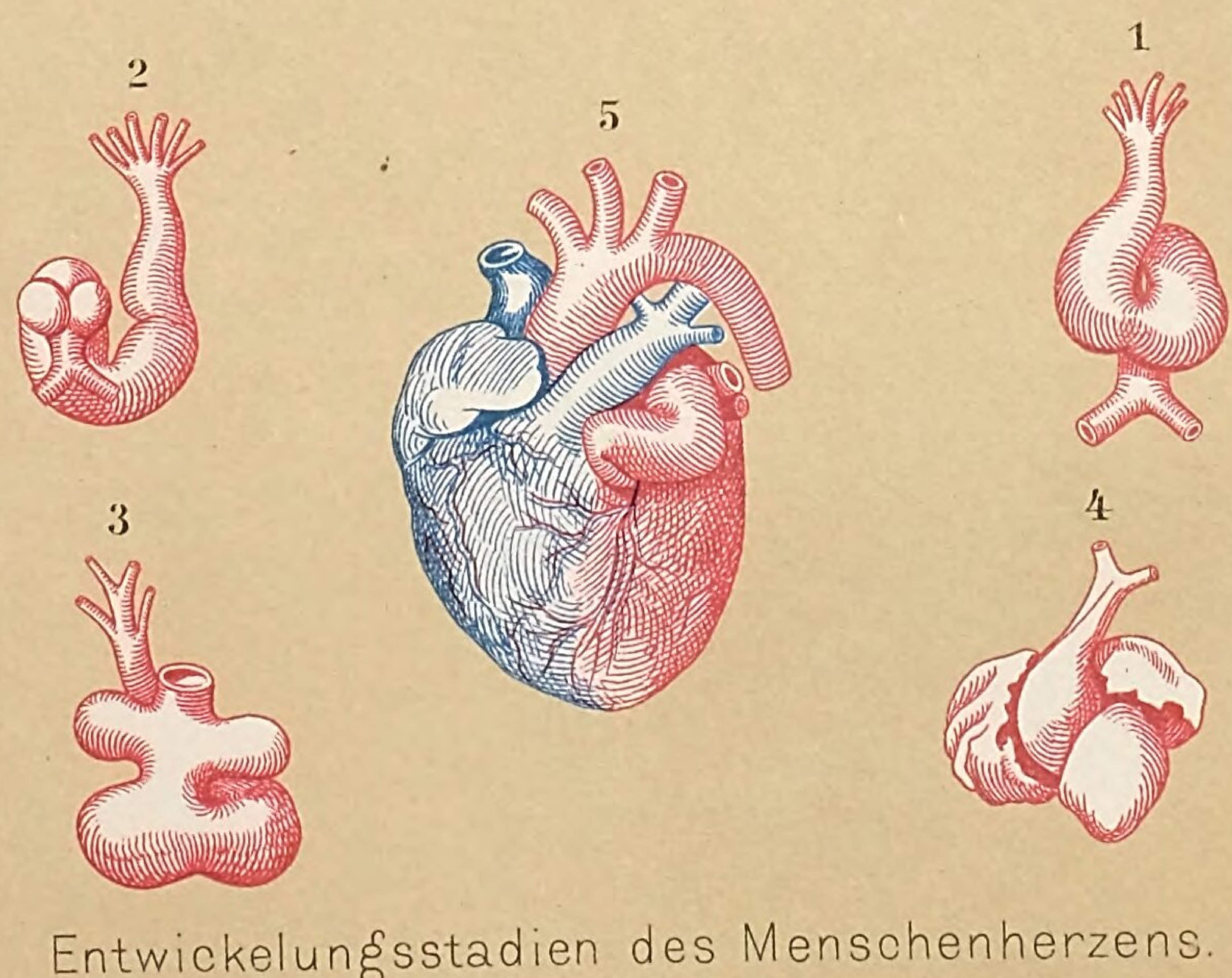


DIE ENTSTEHUNG DER EIHÜLLEN DER MENSCHLICHEN FRUCHT.



Erster Blutkreislauf im Fruchthof eines Kaninchen-Eies.

h Herz; a Arterien; b, d Venen; c Kapillargefäße.



Entwickelungsstadien des Menschenherzens.

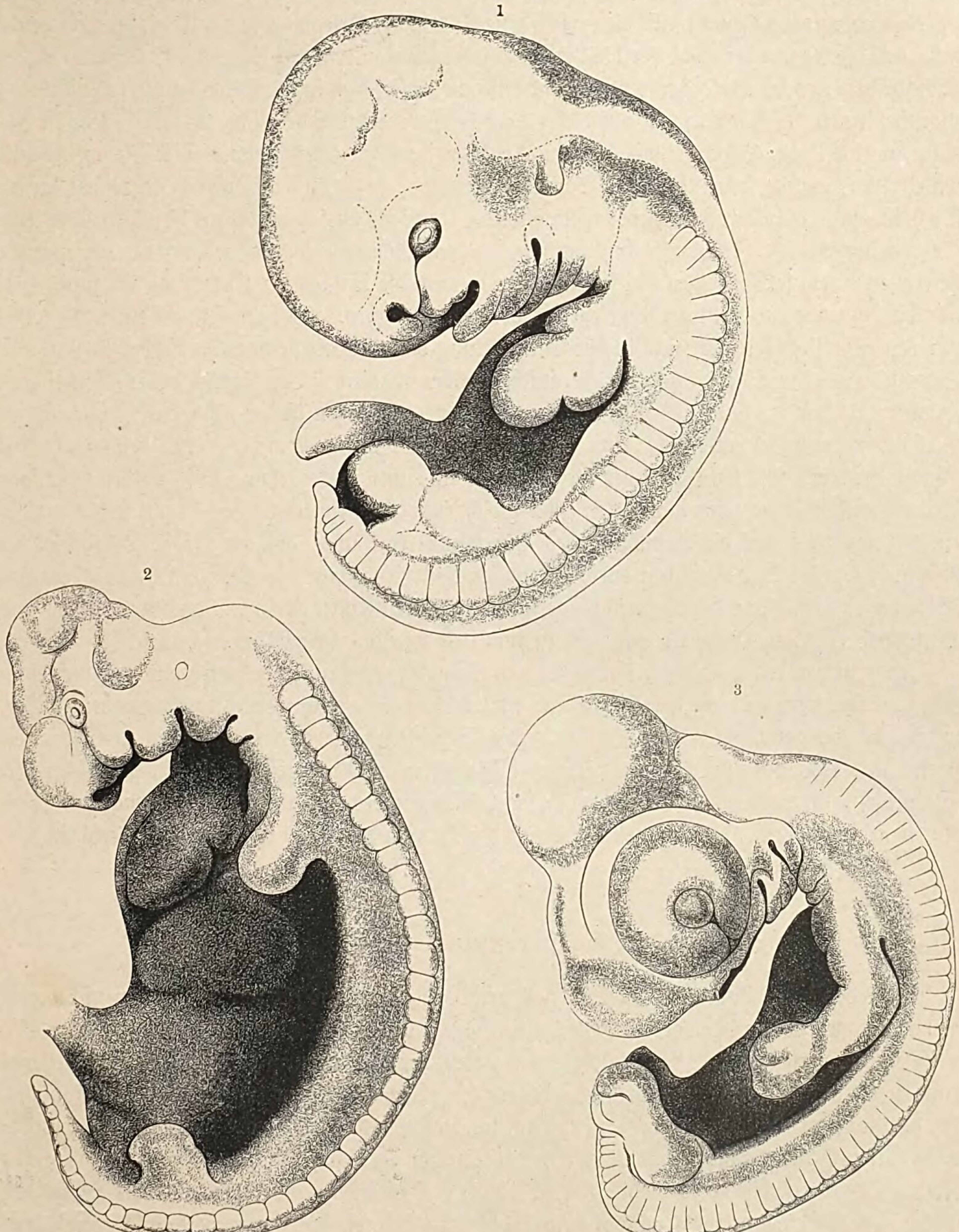
1, 2, 3, 4 verschiedene Stadien der ersten Entwickelung des Herzens; 5 das Herz des Neugebornen.

durchschimmern. Ziemlich tief unten an der vorderen Bauchfläche zweigt der Nabel ab. Rückenteil und Bauchteil der kleinen Körper sind jederseits durch eine seitlich herunterlaufende Leiste, auf deren Kante sich die Anlagen für die Extremitäten erheben, deutlich voneinander geschieden.

1

2

3



Annähernd gleichalterige Früchte: 1) Mensch, 2) Schwein, 3) Huhn. 8mal vergrößert.

In diesen allgemeinen Zügen der Gestaltung stimmen die Früchte der höheren Wirbeltiere auf diesem Entwickelungsstadium überein. Sowie wir aber die relativen Maße der einzelnen Körperteile näher ins Auge fassen, treten die charakteristischen Unterschiede, welche die

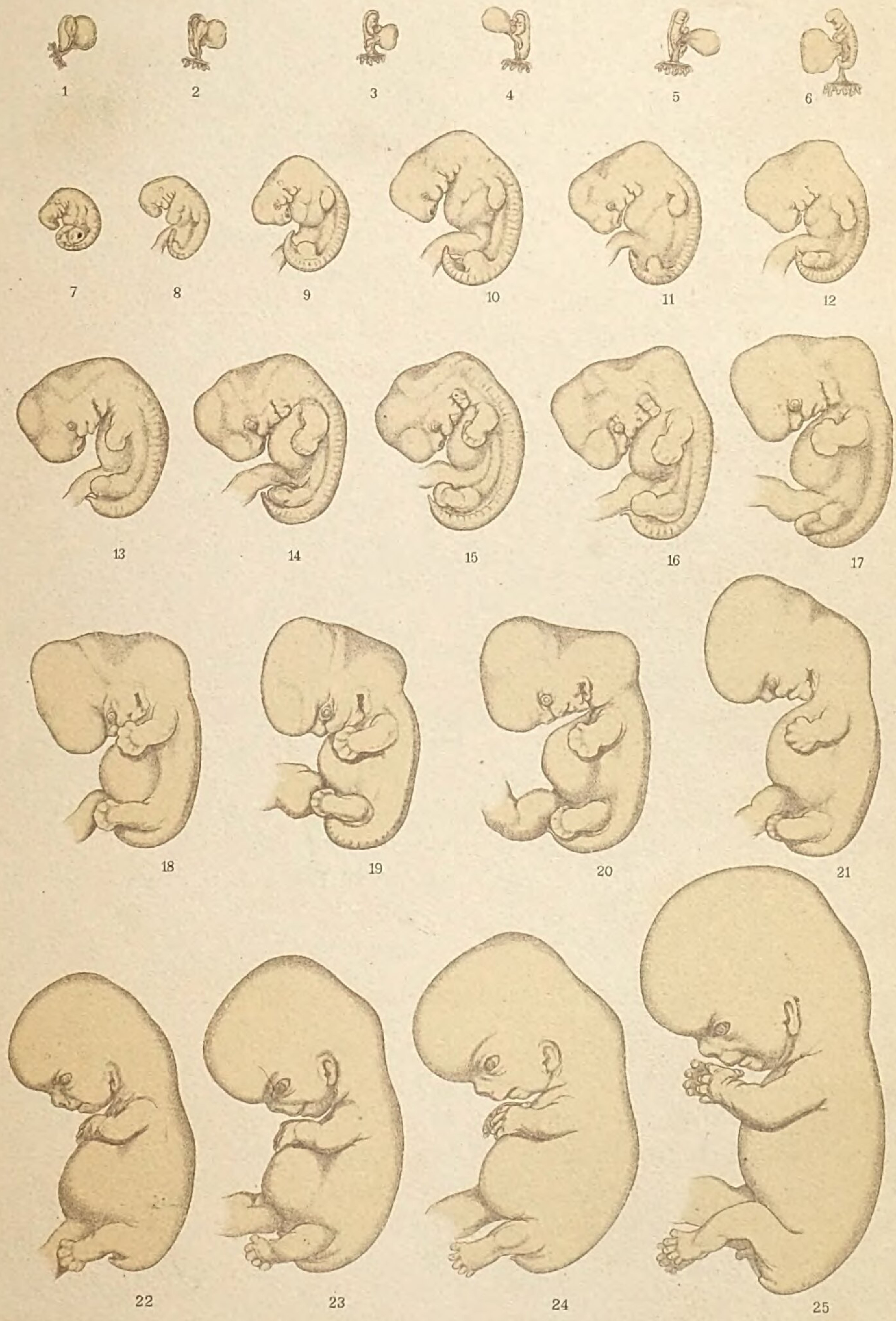
ausgebildeten Organismen erkennen lassen, schon deutlich hervor, so daß ein geübtes Auge trotz der allgemeinen Formähnlichkeit die spezifischen Eigentümlichkeiten der Wirbeltierfrüchte sofort sicher zu erkennen vermag. Zuerst fällt die verschiedene Anzahl der Ursegmente oder Urwirbel auf, welche mit der Differenz in der Zahl der bleibenden Wirbel harmoniert. Bei Mensch und Schwein ist der auch für die erwachsenen Organismen charakteristische Unterschied in der Entwickelung des Rumpfes zum Gehirnteil des Kopfes schon auf dieser Stufe außerordentlich deutlich. Er fällt so sehr in das Auge, weil bei dem Schweine wie bei dem Menschen die Gesichtsteile relativ noch sehr wenig entwickelt sind, welche später bei dem Schweine den Kopf groß und unförmlich erscheinen lassen. Doch ist auch die spätere verschiedene Ausbildung der Gesichtsteile bei beiden Früchten schon entschieden angedeutet. Nicht nur beginnt sich bei dem Schweine die Umgebung der Nasengrube bereits zu einem selbständigen Rüssel zu erheben, auch die Anlage der Kiefer und Schlundbogen ist weit plumper und massiver angelegt als bei dem Menschen. Es bedarf kaum einer Messung, um den gewaltigen Unterschied in der Entwickelung des Gehirnteiles am Kopfe bei Mensch und Schwein uns in seiner ganzen Größe anschaulich zu machen. Der Körper des Hühnchens ist schlanker als der der beiden eben besprochenen Früchte. Dagegen ist der Kopf des Hühnchens im Verhältnis zum Gesamtkörper kaum weniger groß als beim Menschen; auch beim Hühnchen nimmt der Kopf fast die Hälfte der Gesamtgröße ein, und in Beziehung auf die Gesichtsanlage bleibt dasselbe sogar noch hinter der etwa gleich entwickelten menschlichen Frucht zurück. Aber ein näherer Blick auf die Abbildung des Hühnchens lehrt uns, daß die Größe des Kopfes bei ihm nicht wie bei dem Menschen durch die mächtige Gehirnanlage, sondern durch das übergroße Auge bedingt ist. Von der Gehirnanlage ist nur das Mittelhirn groß, während Vorderhirn und Hinterhirn im Vergleich mit der Menschenfrucht sehr spärlich ausgebildet erscheinen.

Wie in den ersten Keimen, den Eiern und Samenkörperchen, so erkennen wir auch auf jedem Stadium der Entwickelung spezifische Eigentümlichkeiten der verschiedenen sich formenden Körper, welche sie von verwandten unterscheiden. Die Entwickelung jeder einzelnen animalen Form erscheint uns trotz des unverkennbar gleichen allgemeinen Bildungsgesetzes als ein spezifischer Gesamtprozeß, in welchem die einzelnen Teilerscheinungen der Gestaltung in gesetzmäßiger Weise eine von der anderen abhängig, eine jede mit der anderen auf das innigste verkettet erscheinen.

Stufenfolge der Körperentwickelung beim Menschen.

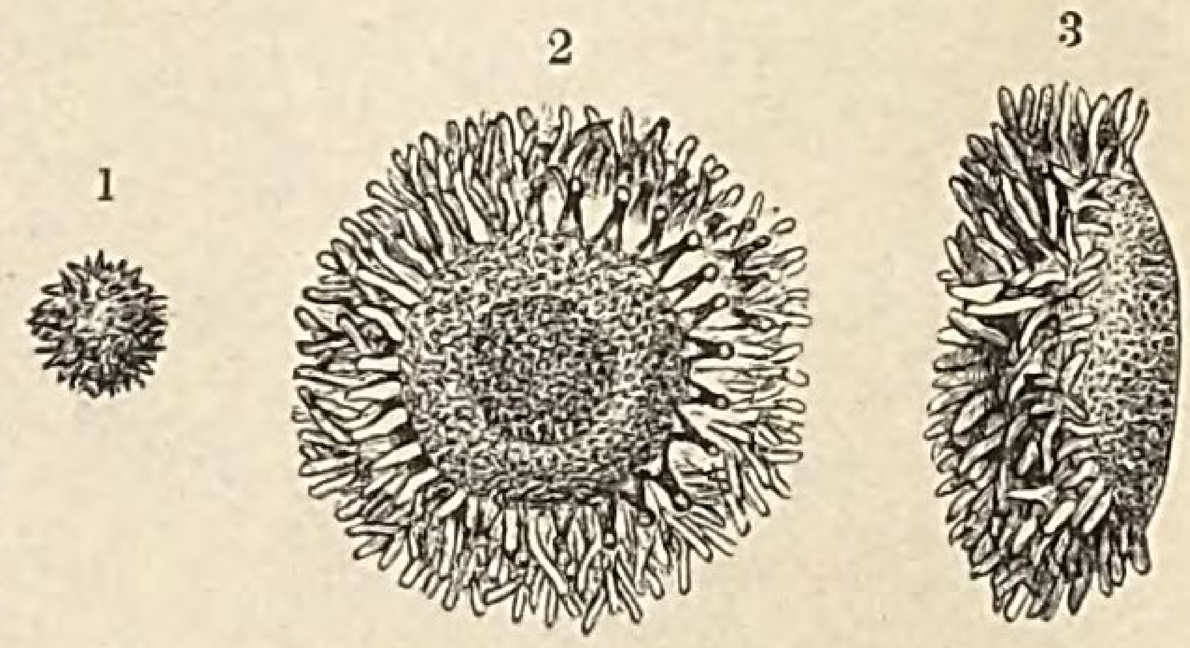
Aus den ersten Tagen des Eilebens nach der Befruchtung sind für den Menschen nur wenige Beobachtungen bekannt geworden. Die Stufenfolge der Entwickelung zeigt die beigeheftete Tafel.

Aus der ersten Woche der Entwickelung, in welcher das Ei durch den Eileiter in den Uterus einwandert und den Furchungsprozeß durchmacht, fehlen die Beobachtungen bisher vollkommen. In der zweiten Entwickelungswoche (12. Tag) fand man das Ei im Uterus als ein kleines, linsenartig flachgedrücktes Bläschen von 5,5:3,3 mm Durchmesser, namentlich am Rande mit reichlichen Zöttchen besetzt (s. die obere Abbildung, S. 155). Das Ei bestand aus der in der Hauptsache nach einschichtigen, nur im Fruchthof doppelschichtigen Keimblase. In den nächstfolgenden Tagen der Entwickelung erhoben sich die Rückenwulste zur Rückenfurche, d. h. zur Bildung der Gehirn-Rückenmarksröhre, welche am 15. Entwickelungstag, also mit Eintritt in die dritte Entwickelungswoche, schon geschlossen erschien. In den ersten Tagen der dritten Woche haben sich unzweifelhaft schon jene Eihüllen, Amnion, Allantois, gebildet, von denen oben die Rede war; die Körperanlage mißt erst 0,45 cm, ihr vorderes und hinteres Ende hat sich abgeschnürt, das Herz ist S-förmig gestaltet. Das am massigsten entwickelte Organ, der Kopf, ist schwach gebogen, die



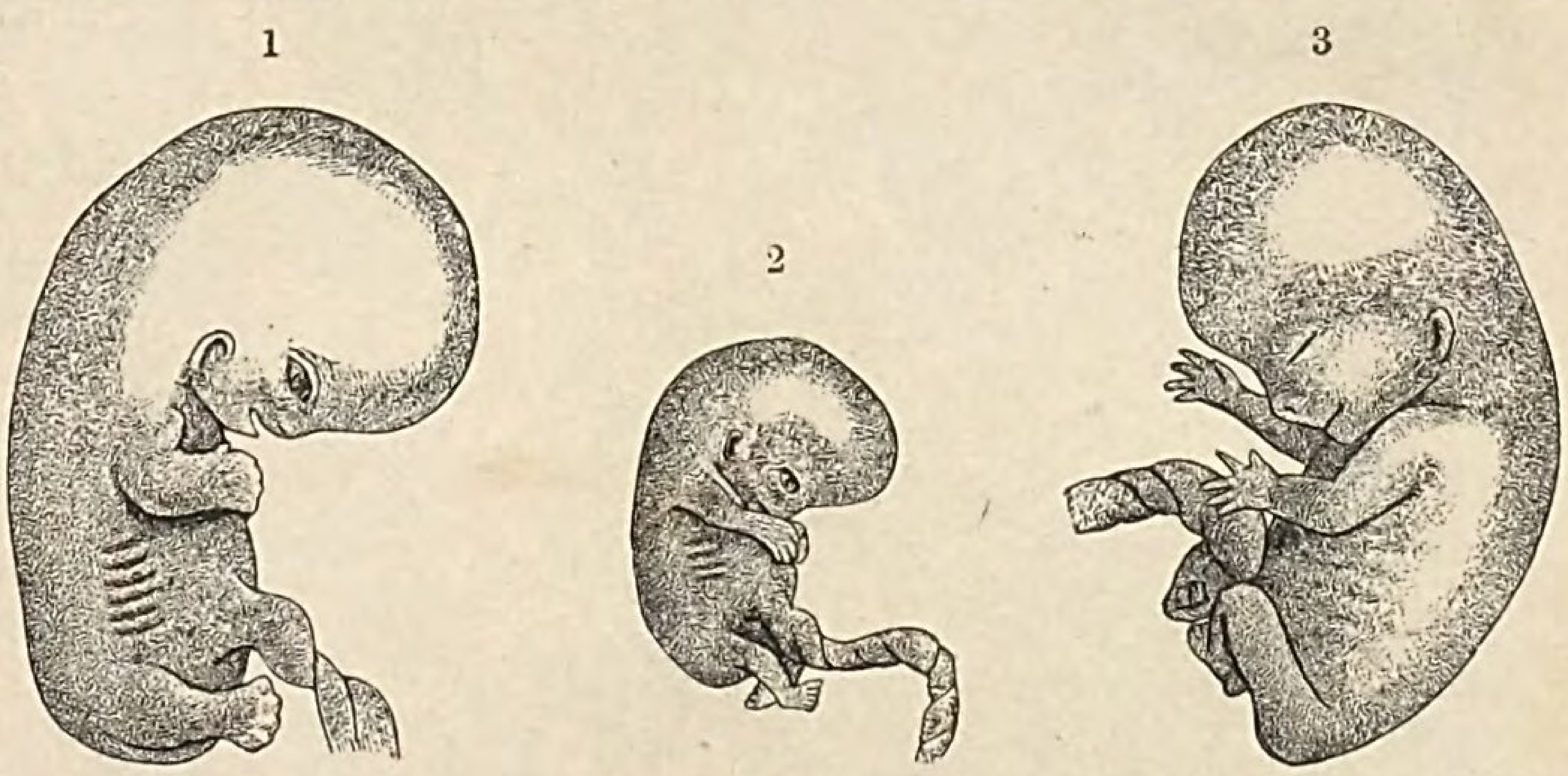
STUFENFOLGE DER KÖRPERENTWICKELUNG DES MENSCHEN.
Menschliche Embryonen in gleicher Vergrößerung.
(Nach W. His.)

Schlundbogen erst angelegt, die Schlundspalten noch nicht durchgebrochen. Gegen den Schluß der dritten Entwickelungswoche ist die äußere Leibesform in ihrer Bildung schon ziemlich weit vorgeschritten und entspricht nun etwa der Gestalt des Hühnchens auf S. 148. Vor allem fällt die Krümmung des Kopfes und des Rumpfes auf, dessen schwanzförmiges Ende sich dem Kopfe nähert. Die Arme und Beine erscheinen in den ersten Anlagen, Schlundbogen und Schlundspalten sind entwickelt. Von den Sinnesorganen tritt namentlich das Auge deutlich hervor, aber auch die Gehörgruben und Nasengrübchen sind schon gut zu erkennen, die Leber ist angelegt. In der vierten Woche beträgt die Rumpflänge der Körperanlage etwa 1 cm, zwischen 0,8 und 1,1. Die Geruchsgrübchen sind noch nicht weiter entwickelt, dagegen beginnt schon die Rückbildung der Schlundbogen und Schlundspalten. Die Anlagen der Arme und Beine sind größer, schaufelförmig, aber noch ohne Gliederung, die der Lunge und des Magens werden deutlicher (s. 1. u. 2. Reihe der beigehefteten Tafel).

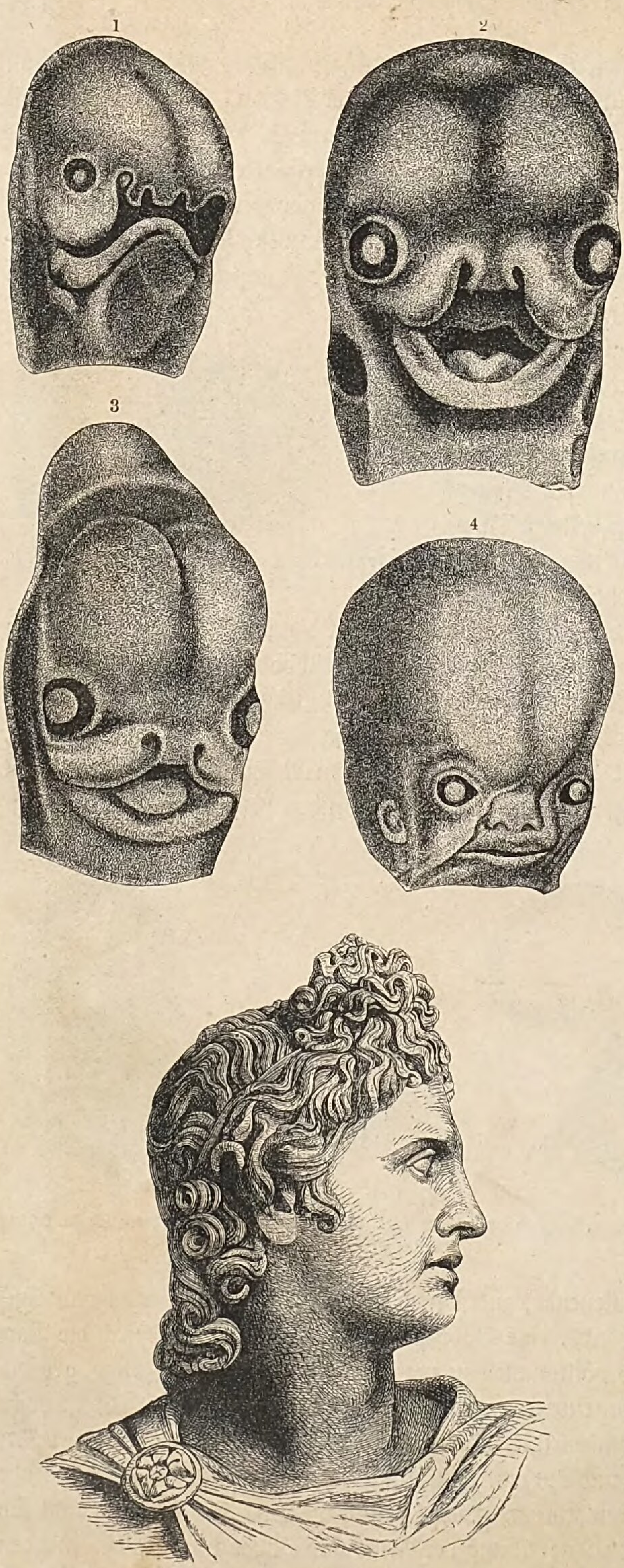


Menschliches Ei von 12—13 Tagen: 1) natürl. Größe, 2 u. 3) vergrößert.

Im zweiten Monat der Entwickelung (s. 3.—5. Reihe der Tafel) bildet sich die bleibende Körperform mehr und mehr aus, und am Ende der achten Woche erscheint die Menschengestalt in ihren Hauptzügen in Miniaturausführung vollendet (s. untenstehende Abbildung). Der anfänglich noch stark zusammengekrümmte Körper beginnt sich zu strecken, namentlich am Rumpfe. Das Gesicht erhält ein menschliches Aussehen durch Bildung der Nasenfurche, Vortreten der Stirnfortsätze, Verwachsung der Oberkieferfortsätze mit den äußeren und inneren Nasenfortsätzen; noch bleibt aber die äußere Nase platt (s. Abbildung, S. 156, Figur 4). Von den verschwindenden Kiemenspalten erhält sich nur der gegen den Rücken zu gewendete Teil der ersten als Anlage der äußeren Ohröffnung. Die Arme und Beine gliedern sich deutlich, am Ende des Monats erscheinen die Finger- und Zehenanlagen. Während der Kopf stärker hervortritt, zieht sich das schwanzförmige Leibesende an seine bleibende Stelle zwischen den Beinansätzen zurück, wo es wegen der starken Streckung des unteren Wirbelsäulenendes zuerst noch als ein kleiner, stummelschwanzähnlicher Höcker, Steißhöcker, bemerkbar bleibt, eine Bildung, welche in der Folge durch die Vorwärtskrümmung des Wirbelsäulenendes vollkommen zu verschwinden pflegt. Die Zunge, größere Drüsen, die Harn- und Generationsorgane werden angelegt. In der fünften Entwickelungswoche beträgt die Rumpflänge ohne Beine zwischen 0,85 und 1,28, in der sechsten zwischen 1,3 und 1,7, in der siebenten und achten zwischen 1,6 und 6,8 cm. Auffällig bleibt vor allem die überwiegende Entwickelung des Kopfes und der oberen Körperpartien im allgemeinen. Die letztere macht sich namentlich in der früheren und rascheren Ausbildung der Arme und Hände im Vergleich mit den Beinen und Füßen bemerklich. Überhaupt bleiben die unteren Extremitäten während der ganzen Fruchtentwickelung relativ zurück. Auch bei dem Neugeborenen machen sich diese Verschiedenheiten in den Körperproportionen noch in auffallender Weise geltend.



Menschliche Früchte:
1) der achten Woche, doppelt vergrößert; 2) der neunten, 3) der zehnten Woche, letztere beide in natürl. Größe.



Entwickelung des menschlichen Gesichts:
1—4) von der dritten Woche bis zum Beginn des dritten Monats. Vergrößert.

Die Entwickelung des dritten Monats zeichnet sich vor allem durch gute Ausbildung der Hand und des Fußes, überhaupt der Extremitäten aus; an den Nagelgliedern machen sich schon die künftigen Nägel bemerklich. Der Hals tritt mehr hervor, da sich der Kopf aufrichtet. Die bis dahin offenen Augenlider schließen sich in der Hälfte des dritten Monats. Die Nase beginnt hervorzutreten, und an der Ohrmuschel erscheinen die Hauptabteilungen. Die anfänglich gemeinschaftliche Öffnung, in welche das Verdauungsrohr mit den Generations- und Harnorganen mündete, die Kloake, trennt sich in die besonderen Öffnungen für die genannten Organe, und von der zweiten Hälfte dieses Monats an ist auch schon das Geschlecht der Frucht erkenntlich. Das Gewicht des Fruchtkörpers im dritten Monat beträgt etwa 11 g; seine Gesamtlänge, mit gestreckten Beinen, schwankt zwischen 6 und 11 cm.

Im vierten Monat der Entwickelung zeigt das Äußere der Frucht wenig Veränderungen; alle Teile sind nur wesentlich größer geworden. In diesem Monat steigt das Körpergewicht im Mittel auf 57 g, die Gesamtlänge des Körpers beträgt zwischen 6 und 11 cm.

Weit auffallender sind die Veränderungen, welche im fünften und sechsten Monat der Entwickelung eintreten, und welche sich namentlich auf die Haut beziehen. Es beginnen sich feine Haare auf der Haut zu entwickeln, welche nach und nach die ganze Körperoberfläche bedecken. Diese feinen Härchen werden als „Wollhaare“ oder „Lanugo“ bezeichnet. Gegen das Ende des fünften Entwickelungsmonates brechen die Wollhaare zuerst an den Augenbrauen und an der Stirn hervor, und bis zum Ende des sechsten Monats ist der ganze Körper mit einem äußerst



Eine fünf Monate alte menschliche Frucht.

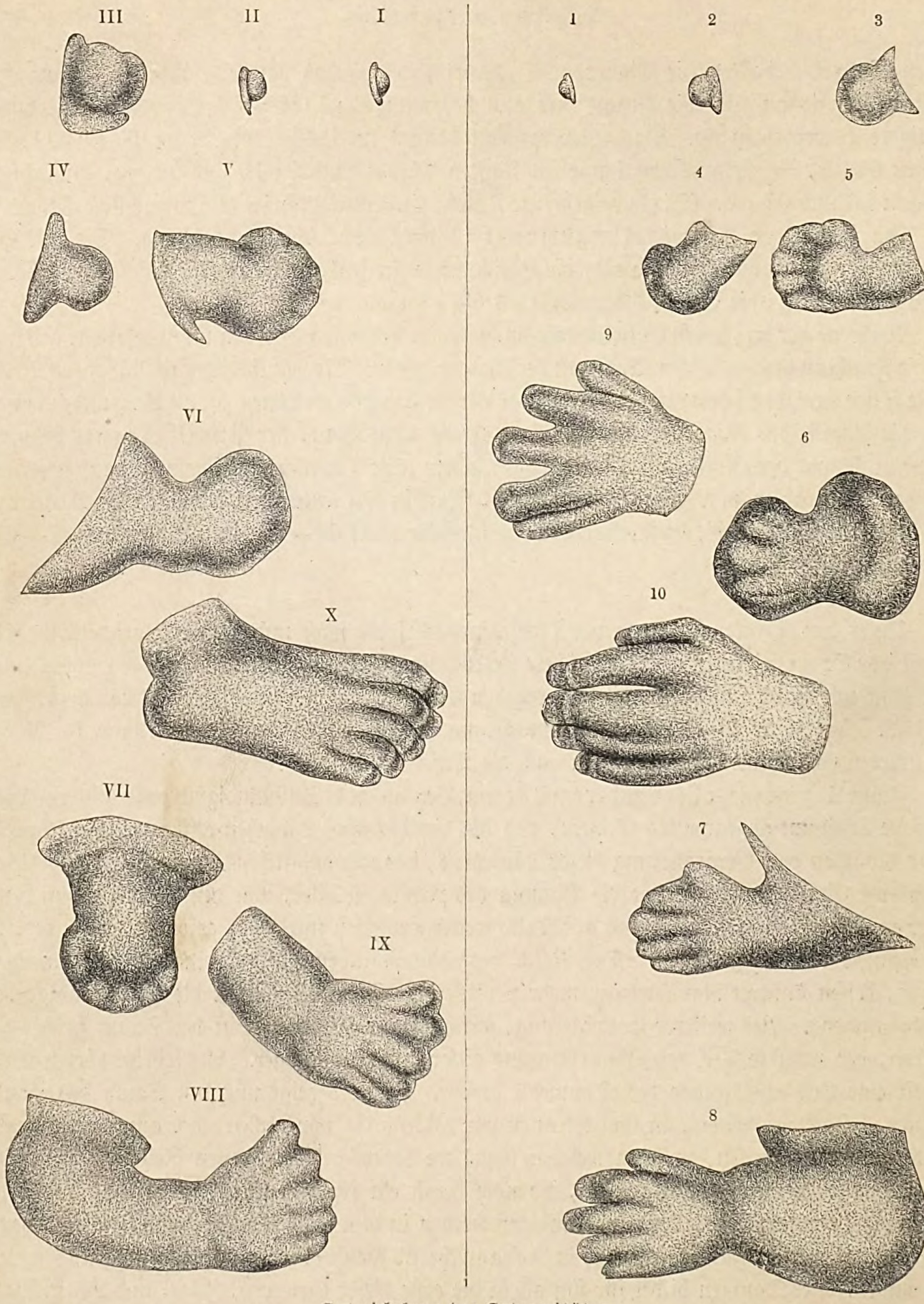
zarten Wollpelz bedeckt. Die Finger- und Zehen-Nägel werden härter, und vom Anfang des sechsten Monats an zeigt die Frucht ihre nun herannahende selbständige Lebensfähigkeit durch kräftigere Bewegungen an. Das Körpergewicht beträgt im fünften Monat im Mittel 284, im sechsten 634 g, die Gesamtkörperlänge im fünften Monat zwischen 19 und 28 cm, im sechsten zwischen 26 und 37 cm. (S. die beigeheftete Tafel „Eine fünf Monate alte menschliche Frucht".)

Im siebenten Entwickelungsmonat ist die Frucht schon lebensfähig. Sie erscheint noch mager, die Haut faltig und rot, die Gesichtszüge greisenhaft. Das Körpergewicht ist schon 1218 g im Mittel, die Gesamtkörperlänge 35 bis 38 cm.

Während der drei letzten Entwickelungsmonate, im achten, neunten und zehnten, gestaltet sich die Frucht zu dem niedlichen Aussehen der Neugeborenen. Die Hautfarbe wird blässer, die Wollhaare fallen zum Teil schon aus, das Kopfhaar nimmt dagegen an Länge zu, die Augenlider öffnen sich; die Pupille des Auges, welche von einer gefäßreichen Haut, der Pupillarhaut, bis zum siebenten Monat verschlossen war, bereitet sich, indem diese Pupillarhaut schwindet, auf den Eintritt der Lichtstrahlen vor. Das Körpergewicht steigt in den letzten drei Monaten im Mittel auf 1569, 1974, 2334 g, die Gesamtkörperlänge im achten auf 41—42, im neunten auf 42—64, im zehnten auf 45—67 cm.

Unter den äußeren Organen des Menschen bedarf die nach und nach erfolgende Ausbildung der Extremitäten noch eine nähere Beleuchtung. Die einzelnen Stadien der Entwickelung von Arm mit Hand und Bein mit Fuß ergeben die gleichmäßig vergrößerten Abbildungen auf S. 158. In Figur 1—10 ist die Entwickelung der oberen Extremität, in Figur I—X die der unteren Extremität dargestellt (vgl. auch die Tafel bei S. 154).

Figur 1 zeigt die obere Extremität im Beginn des Selbständigwerdens als ein vom Rumpfe bestimmt abgegrenztes Gebilde, das als ein dickliches Läppchen erscheint. In Figur 2 sehen wir schon eine Vergrößerung dieses Läppchens, des Handplättchens, eingetreten und dieses durch eine Einschnürung, welche die Bildung des Armes einleitet, von dem Körperstamm deutlicher gesondert. Figur 3 zeigt uns alle Teile weitergewachsen und mehr gesondert, besonders ist der Armteil länger geworden. Der Rand des Handplättchens bekam einen durchscheinenden Saum, dessen äußerer Rand wieder mehr verdickt ist. Dieser Saum ist die Fingeranlage des Handplättchens. Bei weiterer Entwickelung, welche Figur 4 darstellt, ist der Saum größer geworden, der mittlere Teil des Handplättchens dicker, undurchsichtiger. An seinem oberen Ende wächst eine Ecke als Anlage des Daumens hervor. Figur 5 zeigt uns den Saum des Handplättchens stark verbreitert, in ihm erkennen wir radienartig von außen nach innen verlaufende breite weißliche Streifen, zwischen welchen schmälere durchsichtigere Stellen bleiben. Die weißlichen Streifen deuten die Finger an, die noch durch ein schwimmhautähnliches Gebilde miteinander vereinigt sind. Die Fingeranlagen werden in dem folgenden Stadium (Figur 6) deutlicher, in den meisten Fällen liegen sie in drei annähernd gleich dicken und gleich langen Gruppen beisammen. Der Daumen bildet für sich allein die erste dieser Gruppen, Zeige- und Mittelfinger die zweite, Ring- und kleiner Finger die dritte. Die Gruppen werden durch breitere durchsichtige Stellen voneinander abgegrenzt. Der Kern des Handplättchens ist jetzt deutlich Handwurzelteil, die eingeschnürte Stelle deutet den Vorderarm an, und an der Vereinigungsstelle mit dem Körperstamm entsteht der Oberarm. In Figur 7 sehen wir die Fingeranlagen deutlicher gesondert und ungleichmäßig verlängert, der Daumen bleibt im Längenwachstum zurück, der Mittelfinger wächst am meisten. Die Fingerspitzen ragen schon über die schwimmhautähnliche Zwischenmasse, welche teilweise geschwunden ist, hervor. Im Stadium der Figur 8 entwickeln sich Oberarm und Vorderarm weiter, die Hand gliedert sich entschiedener von dem letzteren ab, und die Finger werden



Entwickelung der Extremitäten.
Fig. 1—10) Entwickelung der oberen, Fig. I—X) der unteren Extremität.

in größerer Länge frei. Der Daumen erscheint im Wachstum noch mehr gegen die Nachbarfinger zurückgeblieben. Figur 9 und 10 stellen die Hand mit gesonderten Fingern und Nagelanlagen dar.

Die Entwickelung der unteren Extremität, des Beines mit dem Fuße, durchläuft ganz ähnliche Stadien, wie wir sie eben von der oberen Extremität beschrieben haben. Wenn wir von

den speziellen Abweichungen absehen, so paßt die Beschreibung der ersten zehn Figuren auch auf die zweiten zehn. Wir haben nur statt Handplättchen Fußplättchen, statt Finger Zehen, statt Vorderarm Unterschenkel und statt Oberarm Oberschenkel zu setzen. Doch machen sich von vornherein charakteristische Verschiedenheiten zwischen den beiden so entsprechend verlaufenden Entwickelungsgängen bemerklich. Die ganze Entwickelung der unteren Extremitäten bleibt anfänglich gegen jene der oberen zurück. Das Fußplättchen ist von Anfang an dicker als das Handplättchen, die Anlagen der Zehen sind schon von vornherein kürzer als die der Finger, und ihr freies Hervorwachsen beginnt später und schreitet langsamer vorwärts als bei diesen. Die große Zehe wächst ebenso rasch wie die übrigen Zehen. Schon in dem frühen Stadium, welches in Figur VI dargestellt ist, beugt sich das Fußplättchen etwas gegen die vordere Fläche des Unterschenkels herauf und bildet dadurch an seiner Sohlenfläche eine nach hinten vorspringende Ecke, welche in langsamer Vergrößerung zur Ferse auswächst.

Wir haben damit in schematischer Kürze die Entwickelung des Wunderbaues des Menschenkörpers aus der staunenswert einfachen Anlage, in welcher er zuerst auftritt, bis zu seiner Vollendung verfolgt, zu welcher er normal 280 Tage bedarf.

---

5. Natürliche und künstliche Mißbildungen der Menschengestalt.

Inhalt: Die Hauptformen der angeborenen Mißbildungen. — Haarmenschen. — Geschwänzte Menschen. — Schädelplastik. — Zahnplastik; Nägel- und Nasenumformung. — Rumpfplastik. — Fußplastik.

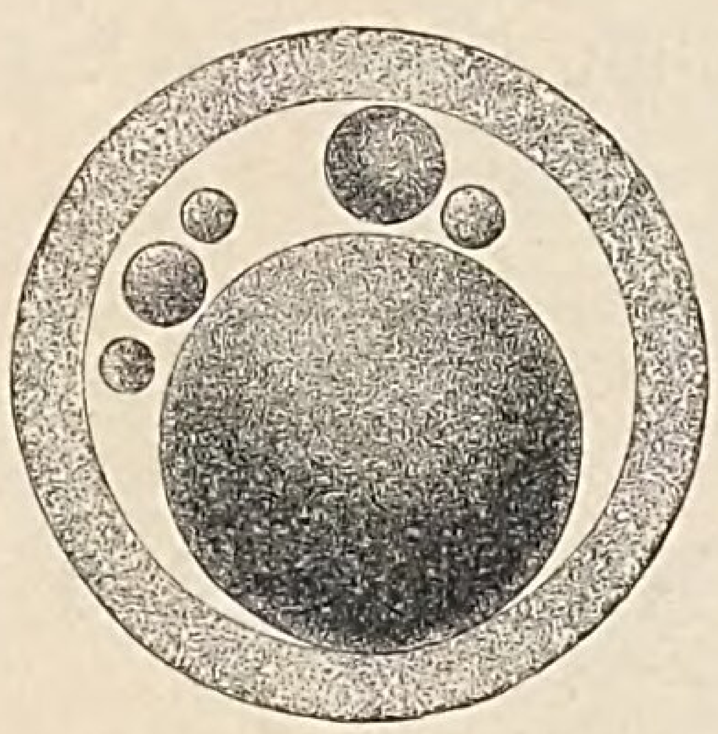
Die Hauptformen der angeborenen Mißbildungen.

Die erste spezielle Anwendung der Lehren von der Entwickelungsgeschichte der Menschheit erschließt uns eins der interessantesten Gebiete der Naturgeschichte des Menschen, das von alters her mit ganz besonderen Schauern des Geheimnisses umgeben ist, die Naturgeschichte der angeborenen Mißbildungen der Menschengestalt.

Die angeborenen Mißbildungen höheren Grades, welche eine augenfällige Entstellung des menschlichen Körpers bewirken, sind seltene Vorkommnisse; dagegen finden sich geringere, äußerlich oft gar nicht bemerkliche Formabweichungen häufiger. A. Förster zählte unter 8386 Neugeborenen in verschiedenen Gegenden Mittel- und Nordeuropas 60 Mißbildungen höheren und niederen Grades. Zählt man nur die ersteren, so wird das Verhältnis noch günstiger. So kommt nach Riecke in Württemberg erst auf 4618, nach Saint-Hilaire in Paris auf 3000 Geburten eine Mißgeburt. Im allgemeinen scheinen Mißbildungen beim weiblichen Geschlecht häufiger als bei dem männlichen, nur in einzelnen besonderen Arten derselben überwiegt das letztere.

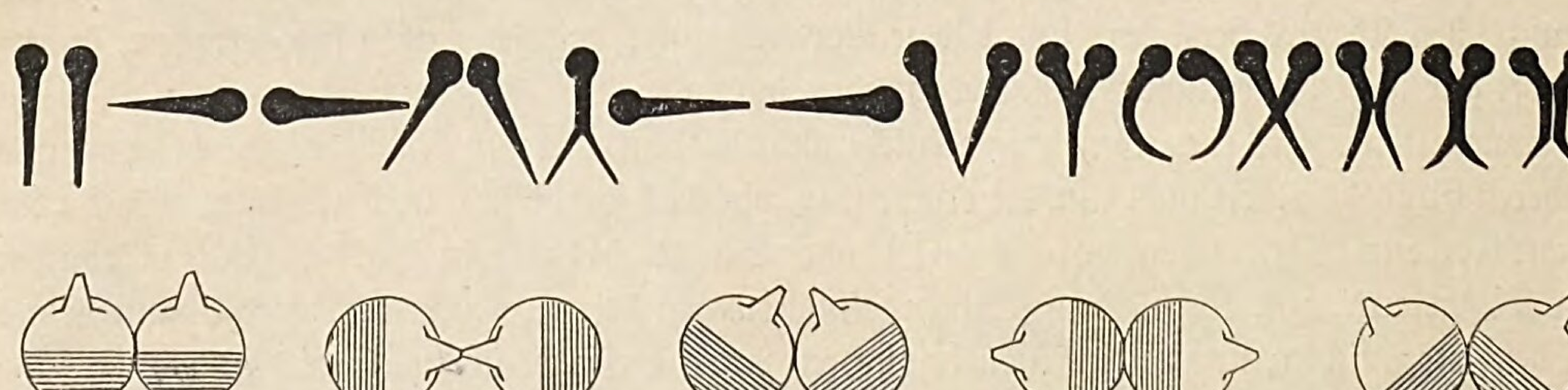
Im allgemeinen können wir die angeborenen Mißbildungen als Störungen und Überbleibsel der Keim- und Fruchtentwickelung bezeichnen. „Von dem ersten Augenblick seines Bestehens an“, sagt A. Förster, „ist der Mensch der Einwirkung krankhafter Störungen unterworfen, und in jeder Altersstufe seines Lebens im Ei kann er ebenso gut erkranken wie im Verlauf seines Lebens von der Stunde seiner Geburt an bis zu seinem Todestage.“ Die krankhaften Störungen, welche die menschliche Frucht innerhalb des Eies befallen, haben aber eine sehr verschiedene Einwirkung je nach der Stufe der Entwickelung, in welcher sie eintreten, und hiernach zerfallen die Krankheiten der Frucht in zwei wohl zu unterscheidende Reihen. Treten die Bedingungen der Erkrankung zu einer Zeit ein, in welcher alle Teile der Frucht schon so weit ihre

Ausbildung erlangt haben, daß sie von nun an nur noch zu wachsen brauchen (etwa vom Anfang des vierten Monats des Fruchtlebens an), so gestalten sich die krankhaften Veränderungen in ähnlicher oder völlig gleicher Weise, wie sie unter denselben Bedingungen auch nach der Geburt auftreten würden, und so erscheinen in der That bei dem ungeborenen Kinde fast dieselben Krankheitsprozesse und in derselben Weise wie bei dem Säugling, dem reifen Kinde und dem Erwachsenen. Entzündungen, übermäßige und zu geringe Ernährung und Wachstum der Teile (Hypertrophien und Atrophien), Neubildungen, Wassersucht 2c. kommen hier wie dort vor und haben wesentlich dieselben charakteristischen Eigenschaften. Das sind die angeborenen Krankheiten im engeren Sinne. Ganz anders gestalten sich aber die Veränderungen, wenn die Bedingungen zur Erkrankung schon zu derjenigen Zeit eintreten, in welcher alle oder einzelne Teile der Frucht noch in der Entwickelung begriffen sind und ihre reife Form noch nicht erhalten haben (bis zum Ende des dritten Monats des Fruchtlebens). Die krankhaften Störungen bewirken in dieser Zeit eine Veränderung der Bildung und Form der Frucht in allen oder einzelnen ihrer Teile und geben dadurch Veranlassung zur Entstehung eigentlicher Mißbildungen. Mag in dieser frühen Zeit eine Entzündung, Überernährung oder Minderernährung, eine Neubildung oder Wassersucht eintreten, das wesentliche Resultat für die Frucht ist stets das gleiche: die Entwickelung der Teile, die Ausbildung der Formen wird gehemmt oder in ihrer Richtung verändert, und wenn die Frucht wirklich zur Reife gelangt, so ist sie mißgebildet. Je früher diese Störungen der Entwickelung stattfinden, von desto einschneidenderem Erfolg pflegen sie begleitet zu sein, und desto wunderlicher sind die Ergebnisse der falsch gerichteten, d. h. gestörten Formbildung. Über die Ursache von Mehrfachbildungen siehe schon S. 109.



Mißbildetes Menschen-Ei (nach Th. v. Bischoff).

Als Grundlage für die Erkenntnis und Beurteilung des Wesens des Mißbildungen machen wir zuerst die Bemerkung, daß trotz der äußerst zahlreichen Formen, in welchen Mißbildungen auftreten können, sie doch nicht etwa in einer unendlichen Anzahl zufälliger und unberechenbarer



Stellungen der Körperaxen und des Kopfes bei vollkommener oder teilweiser Mehrfachbildung beim Menschen (nach Panum).

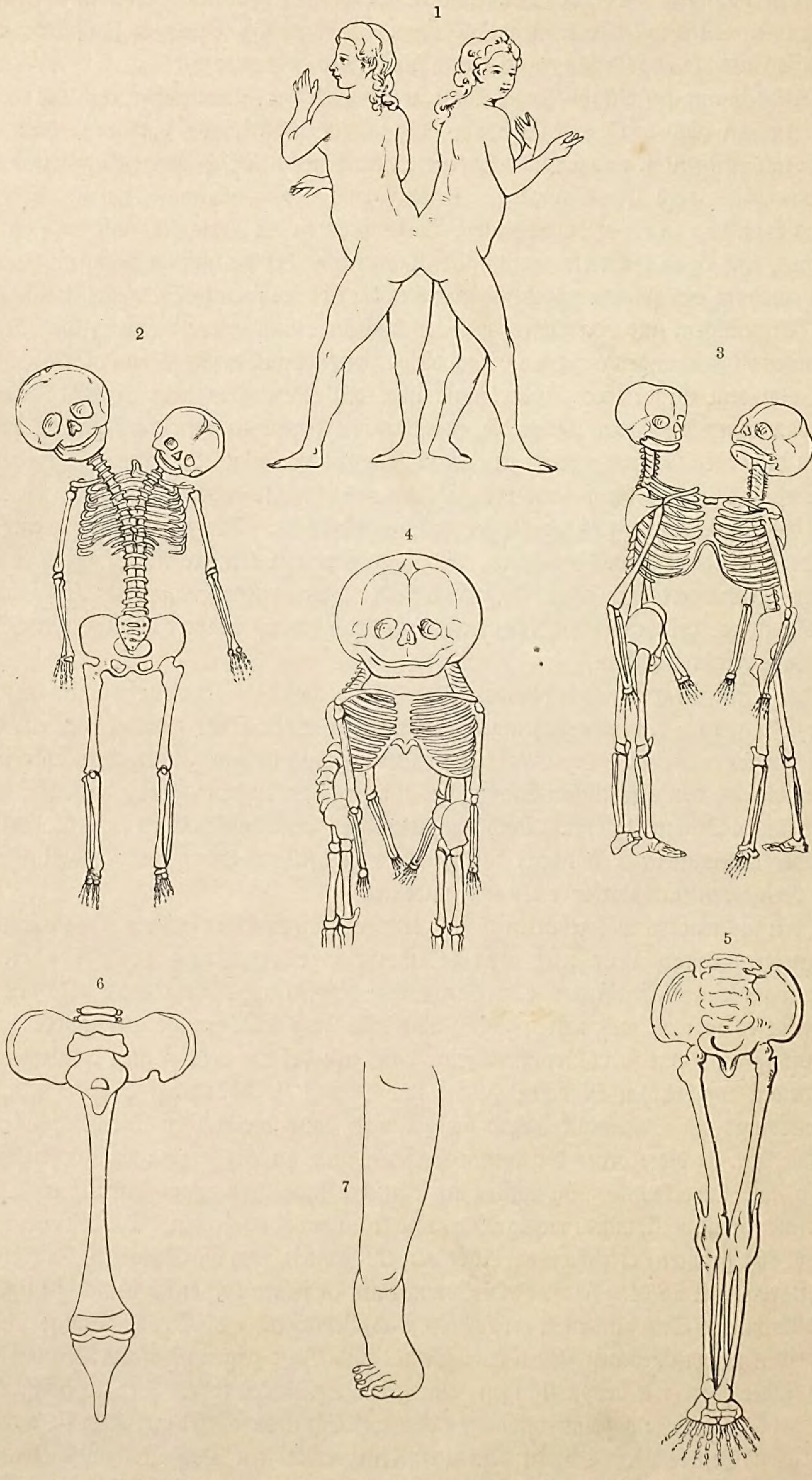
Abweichungen vorkommen. Ihre Zahl ist verhältnismäßig beschränkt, und die abweichenden Formen wiederholen sich in den einzelnen Fällen in einer unverkennbar typischen Weise. Die Mißbildungen können also nicht die Wirkungen ganz verschiedener, zufällig eintretender äußerer Störungen sein, sondern es liegt eine gewisse Anzahl innerer Bedingungen, die sich konstant in entsprechender Weise geltend machen, ihrer Bildung zu Grunde. Noch wichtiger ist aber das schon angedeutete Ergebnis, daß die Mißbildungen der überwiegenden Mehrzahl nach nicht aus Veränderungen schon fertig gebildeter Teile, sondern aus Störungen der ersten Keimanlagen oder des in den ersten Stadien der Entwickelung begriffenen Fruchtkörpers oder

seiner Teile hervorgehen. Ein Teil der Formen, welche späterhin als Mißbildungen erscheinen, sind in gewissen Altersstufen der Frucht geradezu ein normaler Durchgangszustand, der nun durch gewisse Entwickelungsstörungen zu einem bleibenden geworden ist.

Die Ausdehnung der Mißbildungen kann in verschiedenen Fällen außerordentlich verschieden sein. Sie können bald den ganzen Körper, bald größere Abteilungen desselben, bald nur einzelne beschränkte Gegenden und Organe betreffen. Auch in der Beschaffenheit der Mißbildungen herrscht innerhalb ihres Entstehungsgesetzes noch eine große Mannigfaltigkeit. Die Formabweichung kann hier in einer Vermehrung, Vervielfachung der Teile oder fast des ganzen Körpers bestehen, dort in einer Verkleinerung, Verkümmerung oder gänzlichem Mangel. An Stellen, welche fest vereinigt sein sollten, zeigen sich größere oder kleinere Spalten; Organe, welche getrennt oder hohl sein müßten, sind verwachsen oder verschlossen. Auch in der Lagerung der Organe im Körper können Abweichungen auftreten. Nach diesen Gesichtspunkten pflegt man die Mißbildungen, abgesehen von dem Grade ihrer Ausdehnung über den Körper, in drei Hauptgruppen zu trennen, von denen die ersten beiden die quantitativen Veränderungen der Körperbildung umfassen. In der ersten Gruppe werden jene Mißbildungen vereinigt, bei denen die Bildung über das gewöhnliche Maß der Größe und der Zahl hinausgeht und daher größere oder kleinere Abteilungen des Körpers übergroß oder überzählig gebildet sind. Die zweite Gruppe umfaßt jene Formen, deren Bildung unvollständig ist, so daß größere oder kleinere Abteilungen des Körpers fehlen oder verkümmert oder regelwidrig klein sind. Zur dritten Gruppe endlich rechnet man jene Mißbildungen, bei welchen die Körperteile eine Veränderung in ihrer qualitativen Beschaffenheit oder Lage erfahren haben.

In der ersten Gruppe stehen namentlich die abweichenden Körperformen mit überzähliger Bildung, d. h. alle diejenigen, bei welchen mehr Teile gebildet werden, als dem normalen Typus entspricht. Der Erfolg dieser Vermehrung ist ganz außerordentlich verschieden, je nachdem dieselbe den eigentlichen Stamm des Körpers oder einzelne Zweige desselben, Extremitäten oder innere Organe, betrifft. Doch sind alle diese Formabweichungen so vollkommen durch Mittelglieder miteinander verbunden, daß sie ohne Zweifel auf eine gemeinsame, im Einzelfall aber sehr verschieden stark wirkende Ursache hindeuten.

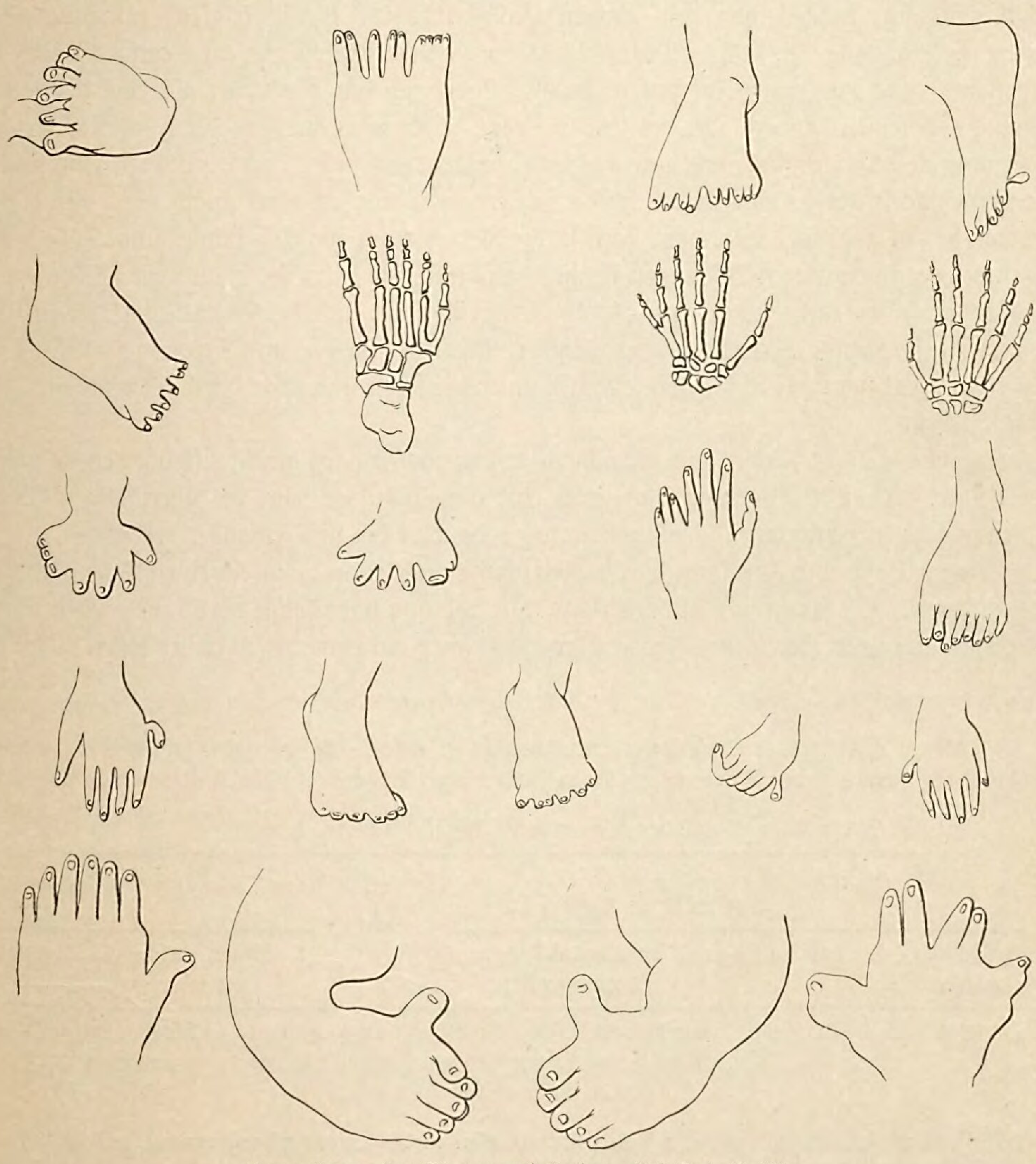
Bei den als wahren Mißgeburten dieser Gruppe erscheinenden Formen sehen wir eine fast vollkommene, öfter aber nur eine teilweise Verdoppelung des Körperstammes eintreten; sogar eine Mißgeburt mit drei getrennten Köpfen wurde beobachtet. In den höheren Formen sieht es so aus, als wären zwei Individuen unglücklicherweise aneinander gewachsen. Die Trennung kann eine so vollkommene sein, daß, wie bei den bekanntesten derartigen Fällen, bei den beiden ungarischen Mädchen Helene und Judith (s. Abbildung S. 162, Fig. 1), zu denen neuerdings ein Seitenstück lebend gezeigt wird, und den beiden Siamesen Chang-Eng (ähnlich wie Fig. 3) die Körper der beiden Personen nur an eng begrenzten Körperabschnitten, im ersteren Falle am Kreuzbein, im zweiten am Brustbeinende, noch zusammenhängen. Die beiden Körper können sonst vollkommen wohlgebildet und lebensfähig erscheinen. Die beiden ungarischen Mädchen (1701 geboren) erreichten ein Alter von 22 Jahren, und die Siamesen, im Jahre 1811 geboren, starben erst 1874. Jedes Individuum kann in seinen körperlichen und geistigen Funktionen vollkommene Selbständigkeit erreichen. Das Bedürfnis nach Schlaf, Speise und Trank tritt bei beiden zu verschiedenen Zeiten ein, Gemüt und Geist zeigen ebenfalls Verschiedenheiten; körperlich findet aber, wie bei Zwillingen, eine große Ähnlichkeit statt. Der überwiegenden Anzahl nach gehören diese Doppelmißbildungen dem weiblichen Geschlecht an, stets fand man beide aber gleichen Geschlechts. Bei an dem Brustbein vereinigten Doppelbildungen hat man in einem Falle mit Glück versucht, die operative Trennung auszuführen; bei den am Rückenende



Doppelmißbildungen und Sirenenbildungen. Vgl. Text, S. 161, 163, 166 u. 167.

vereinigten ist das aber nicht gelungen. Lokale Krankheiten des einen haben auf das Befinden des anderen keinen Einfluß, wohl aber allgemeine, und der Tod erfolgt meist gleichzeitig oder, wie bei den beiden Siamesen, sehr rasch hintereinander.

Der zweite mit dem sonst wohlgebildeten und gesunden vereinigte Körper kann aber auch klein und mehr oder weniger verkümmert sein, ohne Zeichen eines selbständigen höheren Lebens. Manchmal zeigen sich von dem verkümmerten zweiten Doppelkörper nur einzelne Abschnitte entwickelt.



Vermehrung der Finger und Zehen. Vgl. Text, S. 164.

Weit grauenhafter als diese Bildungen sind jene, bei denen nur ein Teil des Körperstammes vielfach geworden ist, wie bei den Mißgeburten mit vollkommen oder teilweise doppeltem Rumpfe und einem Kopfe (Fig. 4, S. 162) oder mit mehreren Köpfen auf einem einzigen (Fig. 2) oder auch zum Teil verdoppelten Rumpfe (Fig. 3).

An die Verdoppelung der Körperachse und die daraus sich ergebenden Doppelmißbildungen reihen sich **Verdoppelungen oder Vervielfachungen einzelner Glieder und Organe** an. Einige dieser Bildungen erscheinen als Verdoppelungen oder Spaltung der Keimanlage eines

Gliedes oder Organs, in anderen Fällen ist aber die Lage der vervielfachten Teile eine solche, daß sie nur aus einer besonderen Keimanlage hervorgegangen sein können. Gerade diese Bildungen sind es, welche die Brücke zu den Doppelmißbildungen des Stammes schlagen, die wohl ebenfalls auf eine von Anfang an mehrfache Anlage hinweisen.

Es finden sich selten überzählige Bildungen ganzer oder halber Extremitäten, relativ sehr häufig kommen dagegen überzählige Bildungen von Fingern und Zehen vor, Formen der Mißbildung, welche unter dem Namen Polydaktylie, Vielfingerigkeit, zusammengefaßt werden (s. Abbildung, S. 163). Diese Verbildung, welche sich oft mit einer entsprechenden der Mittelhand- und Handwurzelknochen verknüpft, findet sich am häufigsten als eine überzählige Bildung des kleinen Fingers oder der kleinen Zehe. Doch kann die Zahl der Finger oder Zehen an Hand und Fuß von fünf nicht nur auf sechs, sondern auf sieben, acht, neun, ja zehn steigen. Die überzähligen Finger oder Zehen finden sich entweder nur an einer Hand oder einem Fuße oder an beiden zugleich, manchmal betrifft die Vermehrung zugleich Hände und Füße. Die Trennung der überzähligen Bildungen ist manchmal nur eine teilweise, in anderen Fällen setzt sie sich aber durch das ganze Hand- und Fußknochengerüst fort, und der Vermehrung der Knochen geht eine entsprechende Vermehrung der Sehnen, Muskeln, Gefäße und Nerven parallel. Diese Mißbildung hat man gar nicht selten erblich auftreten sehen und zwar durch Generationen hindurch wiederholt.[1]

Die überzähligen Finger sind manchmal den normalen ganz gleich, oft aber etwas größer oder kleiner. Die Vervielfachung kann auch eine unvollständige sein, die überzähligen Glieder sind dann sehr kurz und durch schwimmhautartige Hautbrücken untereinander verbunden.

Wie an Hand und Fuß kann die Vervielfachung auch an anderen einzelnen Teilen des Körpers auftreten. Es finden sich überzählige Wirbel und überzählige Rippen. Meist ist nur eine Rippe auf einer oder beiden Seiten überzählig, die dann entweder über der ersten Rippe am

---

[1] Panum gibt folgende Stammtafel einer Familie, in welcher Vielfingerigkeit erblich war [diejenigen Mitglieder der Familie, deren Finger und Zehen normal waren, sind mit (÷) bezeichnet]:

Herr N. N., welcher überzählige Finger hatte, besaß 4 Kinder, nämlich

Frau B (÷)	Frau X (÷) (hatte keine Kinder)	Frau L (÷) (?)	Frau Z (÷)
3 Töchter (÷), (unverheiratet)	1 Sohn (÷),	1 Sohn mit 6 Fingern (unverheiratet)	3 Söhne, welche alle 6 Finger an jeder Hand hatten

Kinder des Sohnes (÷) der Frau B und der Söhne der Frau Z:

1 Sohn (÷),	3 Töchter (÷),	1 Sohn mit 6 Fingern an jeder Hand und an jedem Fuße mit einer sechsten Zehe, welche mit der fünften verwachsen war,	1 Tochter mit 6 Fingern an jeder Hand.

J. F. Meckel beschreibt folgenden Fall von Erblichkeit in der „maltesischen Familie“ [das Zeichen (÷) bedeutet wieder Familienglieder mit normalen Zehen und Fingern]:

Gratio Kalleja hatte beiderseits 6 Finger und 6 Zehen, er hatte 4 Kinder:

Salvator 12 Finger und 12 Zehen wie der Vater	Georg (÷)	Andreas (÷)	Maria (÷)
Seine 4 Kinder, 3 Söhne und 1 Tochter, hatten ebenfalls alle beiderseits 6 Finger und 6 Zehen.	hatte 3 Töchter, von denen 2 je 12 Finger und 12 Zehen hatten, die dritte hatte 12 Finger, aber nur an dem einen Fuße 6 Zehen, der andre war normal; der Sohn (÷)	hatte nur regelmäßig gebildete Kinder.	hatte 2 Söhne und 2 Töchter; drei (÷), der eine Sohn hatte an dem einen Fuße 6 Zehen.

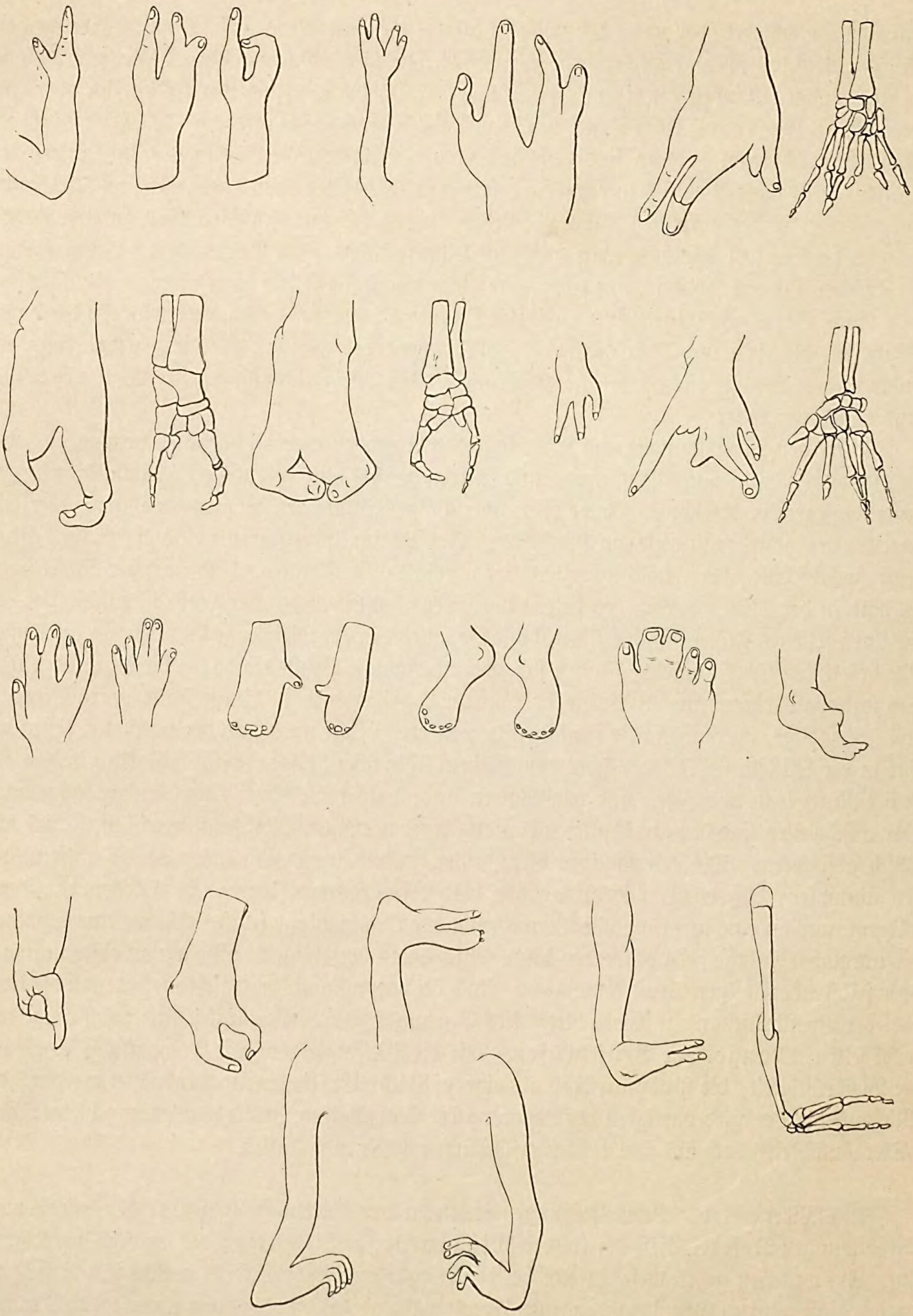
untersten Halswirbel oder unter der zwölften Rippe am ersten Lendenwirbel ansitzt, welche beide bei dem Menschen normal ihre embryonalen Rippenanlagen nicht ausbilden. Hier und da sitzen die überzähligen Rippen an einem überzähligen Brustwirbel. Zuweilen finden sich aber auch mehr als 13 Rippen auf einer Seite, in einem Falle beobachtete man deren 15. Die oft beobachteten überzähligen Zähne sind nicht immer als ursprüngliche Bildungsveränderungen aufzufassen, meist handelt es sich nur um ein anormales Überbleiben eines oder mehrerer Milchzähne. Nur wenn sie in der normalen Zahnreihe stehen, haben wir mit Entschiedenheit an eine Mißbildung zu denken; so beobachtete man z. B. fünf Schneidezähne, sechs Backenzähne. Vervielfachung des äußeren Ohres, wobei dann das zweite Paar am Halse stehen kann, kommt ebenfalls vor.

Auch Vervielfältigungen innerer Organe hat man beobachtet, teilweise Verdoppelungen im Gehirn und Rückenmark, vollkommene des Herzens. Die Zunge kann eine wahre Verdoppelung, nicht nur eine Spaltung in der Längsrichtung zeigen, dann liegen zwei Zungen übereinander.

Unter den Mißbildungen wurde vielfach das Auftreten einer Überzahl von weiblichen Brustdrüsen mit eigner Brustwarze und Warzenhof als eine besondere „Tierähnlichkeit" auch neuerdings wieder bezeichnet. Unter allen überzähligen Bildungen der inneren Organe (der Eingeweide) beobachtet man diese am häufigsten. Gewöhnlich findet sich nur eine überzählige Brustdrüse, welche bald ober-, bald unterhalb der normalen Brustdrüsen, bald nach der Achselgegend zu, bald in der Mitte zwischen den beiden normalen Brüsten in der Herzgrube ihren Sitz hat. In einzelnen seltenen Fällen saß die überzählige Brustdrüse in der Weichengegend oder an der Außenseite des linken Oberschenkels. Finden sich zwei überzählige Brüste, so haben diese entweder ihren Sitz unterhalb der normalen Brüste oder in der Achselgegend; in einem Falle beobachtete man drei überzählige, im ganzen also fünf Brüste, von denen zwei unterhalb der normalen saßen und eine in der Mittellinie, 14 cm über dem Nabel. Die überzähligen weiblichen Brustdrüsen sind in der Regel klein und sehen nur wie Warzen aus; nach der Geburt eines Kindes sah man sie aber anschwellen und den gewöhnlichen Umfang einer normalen Brustdrüse erreichen, ja wie diese Milch absondern. Die überzähligen Brustdrüsen haben gewöhnlich ihre Lage so entfernt von den normalen, daß wohl, wie bei all den bisher besprochenen Unregelmäßigkeiten der Formbildung, nur an eine ursprüngliche Vermehrung der Organanlage selbst, nicht an eine Spaltung der normalen Anlage gedacht werden kann. Auch eine überzählige Brustwarze an einer normalen oder selbst überzähligen Brust kommt vor. Auch bei dem männlichen Geschlecht hat man die Überzahl der Brustdrüsenanlage beobachtet. Als Gegenstück zur Vielbrüstigkeit findet sich auch, wiewohl selten, Mangel der Brustdrüsen. Wie die Vielfingerigkeit, die Polydaktylie, so ist auch die Vielbrüstigkeit, die Polymastie, als eine erbliche Erscheinung beobachtet worden. Ein Blick auf die Verschiedenartigkeit der Lagerung der überzähligen Brüste genügt, um die gerühmte „Tierähnlichkeit" doch als eine recht oberflächliche erscheinen zu lassen.

Als Widerspiel der Vervielfachungen treten in der zweiten Hauptgruppe der angeborenen Mißbildungen Defekte und Minderzahl in den Organbildungen des menschlichen Körpers auf. Am weitesten gehen diese Defekte bei den „herzlosen Mißgeburten", welche als Reste einer zweiten, fast ganz zu Grunde gegangenen Frucht während des Eilebens von einem oft vollkommen normal entwickelten Zwilling durch Abgabe von Blutgefäßen erhalten werden. An sich sind sie vollkommen unfähig zum Leben und zur selbständigen Weiterbildung.

Ferner können bei sonst wohlgebildetem Körper doch alle, wie bei Herrn Kobelkoff, dem Rumpfkünstler, oder einzelne Extremitäten, Arme wie Beine, fehlen oder mangelhaft ausgebildet sein. Bei den Beinen findet sich vollkommene oder teilweise Verschmelzung zu sirenen- oder



Verminderung der Finger und Zehen. Klumpfuß. Klumphand.

robbenähnlichen Bildungen, welche den bekannten Märchen von Fischschwanz-Menschen zu Grunde liegen (Fig. 5 und 6, S. 162).

An diese Fälle reiht sich die mangelnde oder unvollständige Bildung der Hände und Füße, der Finger und Zehen. Namentlich die letzteren Fälle interessieren uns im

Vergleich mit den überzähligen Bildungen an Fingern und Zehen (s. Abbildung, S. 166). Vollständiger Mangel aller Zehen oder Finger wurde fast niemals beobachtet, dagegen finden sich teilweise Defekte derselben relativ sehr häufig. Manchmal trifft teilweise der Mangel der Zehen oder Finger alle vier Extremitäten, häufiger nur Arme oder Beine oder nur eine Extremität. Es können vier, drei, zwei oder nur eine Zehe oder ein Finger fehlen, wobei dann meist gleichzeitig das ganze Knochengerüst der Hand oder des Fußes eine entsprechende Mangelhaftigkeit erkennen läßt; immer ist das bei den Muskeln, Sehnen, Gefäßen und Nerven der Fall. Hier und da sind die Finger und Zehen nur teilweise gebildet, es fehlen ein oder zwei Glieder, oder es findet sich nur ein unförmlicher Stummel.

Unter den „Tierähnlichkeiten", welche die ältere Schule in den Mißbildungen erkennen wollte, spielten Menschen mit Gänsefüßen oder mit Armen, welche in Flossen ausgingen, eine bedeutende Rolle. Häufig finden sich Zehen und Finger wirklich ganz oder teilweise ungetrennt, indem es aus krankhaften Ursachen nicht zu jener Spaltung der Zehen- oder Fingeranlagen kommt, welche wir am Fruchtkörper zuerst als ein schaufelförmiges Blättchen gemeinschaftlich angelegt gesehen haben. Es handelt sich hier sonach meist nicht um Verlust oder Verwachsung, sondern um nicht erfolgte Trennung.

Wie bei der Vielfingerigkeit, so findet sich auch bei den Fingerdefekten, der Adaktylie, und dem Verwachsenbleiben der Finger und Zehen, der Syndaktylie, öfters eine erbliche Übertragung, welche darauf hinweist, daß wir auch bei diesen geringfügigen Defekten vielfach an einen ursprünglichen Mangel in der allerersten Anlage, welche direkt unter väterlicher und mütterlicher Anteilnahme sich bildet, zu denken haben.

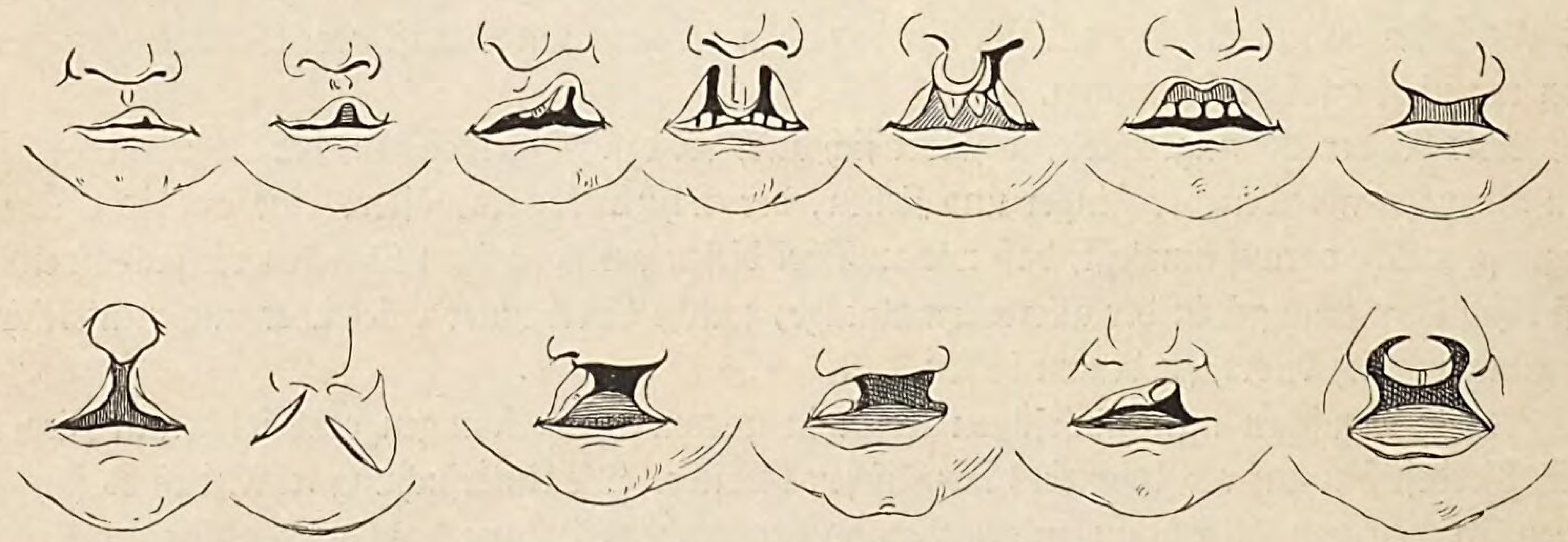
Neben Menschen mit Gänsefüßen treten in älteren Beschreibungen auch solche mit Ziegen- oder Pferdefüßen auf als besonders „teuflische" Gebilde. Die Untersuchung lehrt, daß es sich bei diesen Formen von Mißbildungen um Veränderungen der Stellung des Fußes gegen den Unterschenkel mit Störung in der Gelenkausbildung handelt, hervorgerufen durch eine auf Erkrankung beruhende stärkere Spannung infolge von Verkürzung gewisser Muskeln und Sehnen. Bei dem eigentlichen „Pferde- oder Spitzfuß" ist die Ferse so stark in die Höhe gezogen, daß die Zehen nach unten gerichtet sind und der Fußrücken in derselben Längsrichtung des Unterschenkels steht (Fig. 7, S. 162). In diesem Falle sind nur die eigentlichen Wadenmuskeln abnorm gespannt, und das Leiden kann durch Trennung ihrer gemeinschaftlichen Sehne, der Achillessehne, unschwer gehoben werden. Ähnliche Fußverkrümmungen werden als Klumpfuß und angeborener Plattfuß bezeichnet. Am Klumpfuß kommt der innere Rand des Fußes nach oben, der äußere nach unten zu stehen, in den extremsten Fällen ist der Fußrücken nach unten gerichtet und dient zum Auftreten. Am Plattfuß steht im Gegenteil der äußere Fußrand oben, der innere unten, und die Fußsohle ist nach außen gerichtet. Auch diese Mißbildungen werden durch höhere Spannung und krankhafte Verkürzung gewisser Muskeln und Sehnen primär bedingt. Diese Leiden können auch im späteren Leben durch Krankheit erworben werden. Eine ähnliche Verbildung wie Klumpfuß beobachtet man auch manchmal an der Hand als Klumphand (s. die untenstehenden Figuren auf S. 166).

Verhältnismäßig häufig begegnet man unvollständigen Bildungen der Schädel- und Wirbelhöhle, woran sich Bildungshemmungen des Gehirns und Rückenmarks mit den entsprechenden Veränderungen des Gesichts, des Kopfes mit den Sinnesorganen oder der Wirbelsäule mit dem Körperstamm anschließen. Ein großer Teil dieser Bildungen läßt sich auf Entzündungen, Wasserergüsse und Ernährungsstörungen, welche Gehirn und Rückenmark und ihre Hüllhäute und Knochen meist in früher Zeit des Fruchtlebens treffen, zurückführen. Hierher gehört die Cyklopie, Cyklopenform, bei welcher es nur zur Bildung eines Auges kommt. Noch

wichtiger sind die vom Volke als „Wasserkopf" bezeichneten Störungen in der Gehirnausbildung, denen ganz ähnliche am Rückenmark entsprechen. Wir werden auf einige dieser Formen bei Besprechung der Kretinen und der Mikrokephalen, der sogenannten Affenmenschen, erst an einer späteren Stelle dieses Buches näher eingehen.

Den oben genannten überzähligen Bildungen der Wirbelsäule stehen die Defekte derselben gegenüber. Manchmal fehlt bei sonst wohlentwickeltem Körper ein einzelner Wirbel, so daß nur 3—4 Kreuzbein-, 4 Lenden-, 11 Brust- oder 6 Halswirbel existieren. Bei Mangel eines Brustwirbels fehlt auch die entsprechende Rippe. In manchen Fällen wird der Mangel eines Wirbels in einer Abteilung der Wirbelsäule durch Überzahl in einer anderen Abteilung ausgeglichen.

Unter den angeborenen „tierähnlichen" Mißbildungen sind namentlich die unvollständigen Bildungen des Gesichtes allgemeiner bekannt, welche man als Hasenscharte und Wolfsrachen bezeichnet, und welche dem Altertum und der Neuzeit Veranlassung gaben, vom Leipziger Löwen, von Menschen mit Hasen- und Wolfsköpfen zu fabeln. Die komplizierte Bildungsgeschichte des



Hasenscharten verschiedenen Grades.

Gesichts macht es verständlich, wie namentlich hier leicht durch krankhafte Störungen Verbildungen auftreten können, welche teils in unregelmäßiger Spaltenbildung, teils in Verwachsungen und vollkommenem Mangel einzelner Teile beruhen. Wir haben gehört, daß vor dem Ende der zweiten Woche noch kein Gesicht existiert. Das letztere bildet sich dadurch, daß die oberen Schlundbogen von den Seiten her sich teils an den vorgebuchteten Stirnteil des Kopfes anlegen, teils gegen die Mittellinie zu einander entgegen- und schließlich zusammenwachsen. An Stelle des Gesichtes existiert also zunächst eine große Spalte zwischen den Schlundbogen. Wir verstehen diese Verhältnisse, wenn wir die oben (S. 156) gegebene Abbildung des Gesichts des Menschen in den verschiedenen Bildungsstadien oder das Gesicht der Kaninchenfrucht (S. 147) vergleichen. Bleibt die Gesichtsbildung teilweise auf einem dieser früheren Stadien stehen, so sind Mangel des Unterkiefers, Spaltungen in der Oberlippe (Hasenscharte), in dem Oberkiefer und Gaumen (Wolfsrachen), Spaltung der Zunge, Fortsetzung der Mundspalte gegen das Ohr ꝛc. die Folgen.

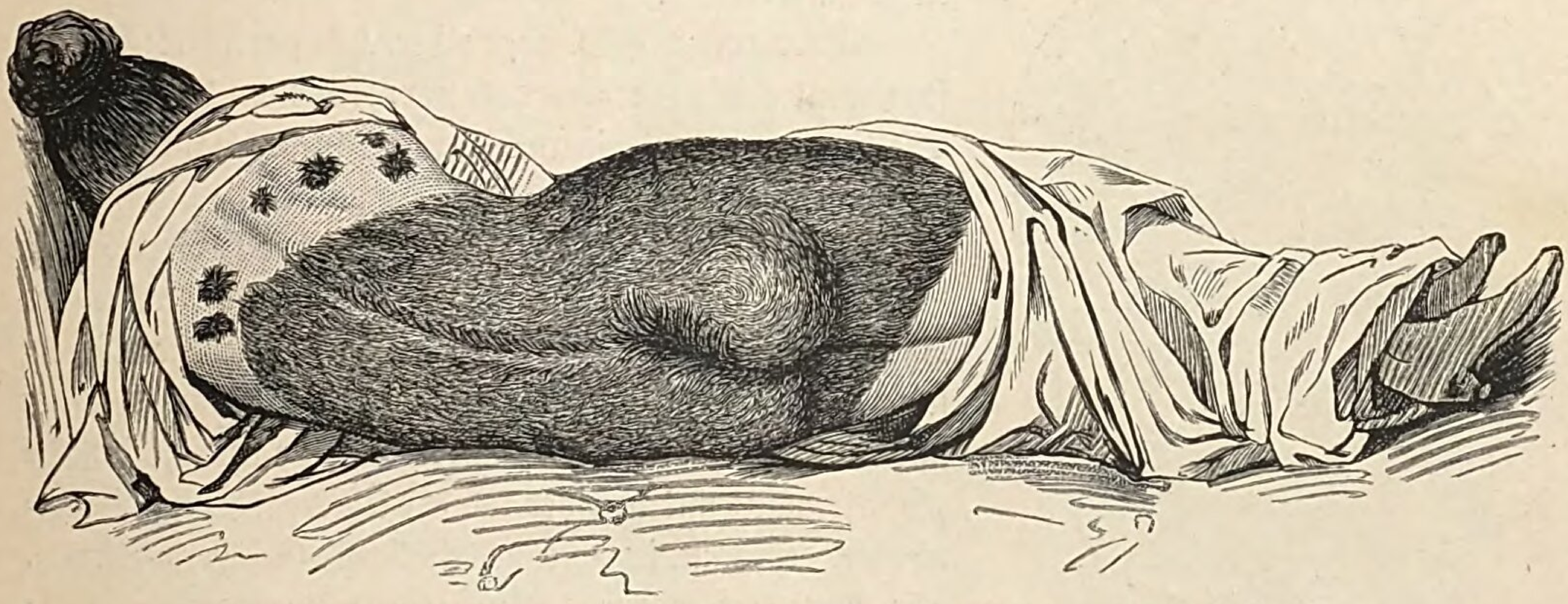
Erreicht dagegen die Verwachsung krankhaft einen höheren als den normalen Grad, so tritt Verwachsung der Lippen untereinander entweder ganz oder bis zu außerordentlicher Kleinheit des Mundes ein, oder die Zunge verwächst mit dem Boden der Mundhöhle, ein Zustand, den man in schwach entwickelten Fällen als Verkürzung des Zungenbändchens benennt. Auch die Schlundspalten am Halse können sich nur unvollkommen schließen und als Halsfistelöffnungen bestehen bleiben.

Da sich auch Brust- und Bauchhöhle bei der Entwickelung durch seitliche Verwachsung verschließen, so kommen hier als Hemmungsbildungen fast alle denkbaren Grade des Offenbleibens vor; Ähnliches gilt für den Darmkanal. In der Anlage ist der letztere unten blind geschlossen,

und erst im weiteren Verlauf der Entwickelung bildet sich die bleibende Endöffnung; daher findet sich als Hemmungsbildung auch ein angeborener Verschluß der Darmöffnung. Verhältnismäßig häufig unterliegen auch die Generationsorgane einer Mannigfaltigkeit zur Mißbildung führender Störungen; durch einige der letzteren entstehen sogenannte hermaphroditische oder mannweibliche Bildungen.

Alle die Mißbildungen, bei welchen das Wesen der Bildungsveränderung in einer „Verirrung" der Bildung schlechthin beruht, beschränken sich ausschließlich auf die inneren Brust- und Unterleibsorgane.

Die „Verirrung" zeigt sich am auffallendsten in einer totalen Verlagerung der gesamten Brust- und Unterleibseingeweide, so daß die seitliche Lagerung der Eingeweide vollständig umgekehrt ist. Dabei zeigen die Organe eine vollkommene, der veränderten Lage angemessene Umänderung ihrer Form und Anordnung, so daß auch jedes einzelne Organ vollkommen

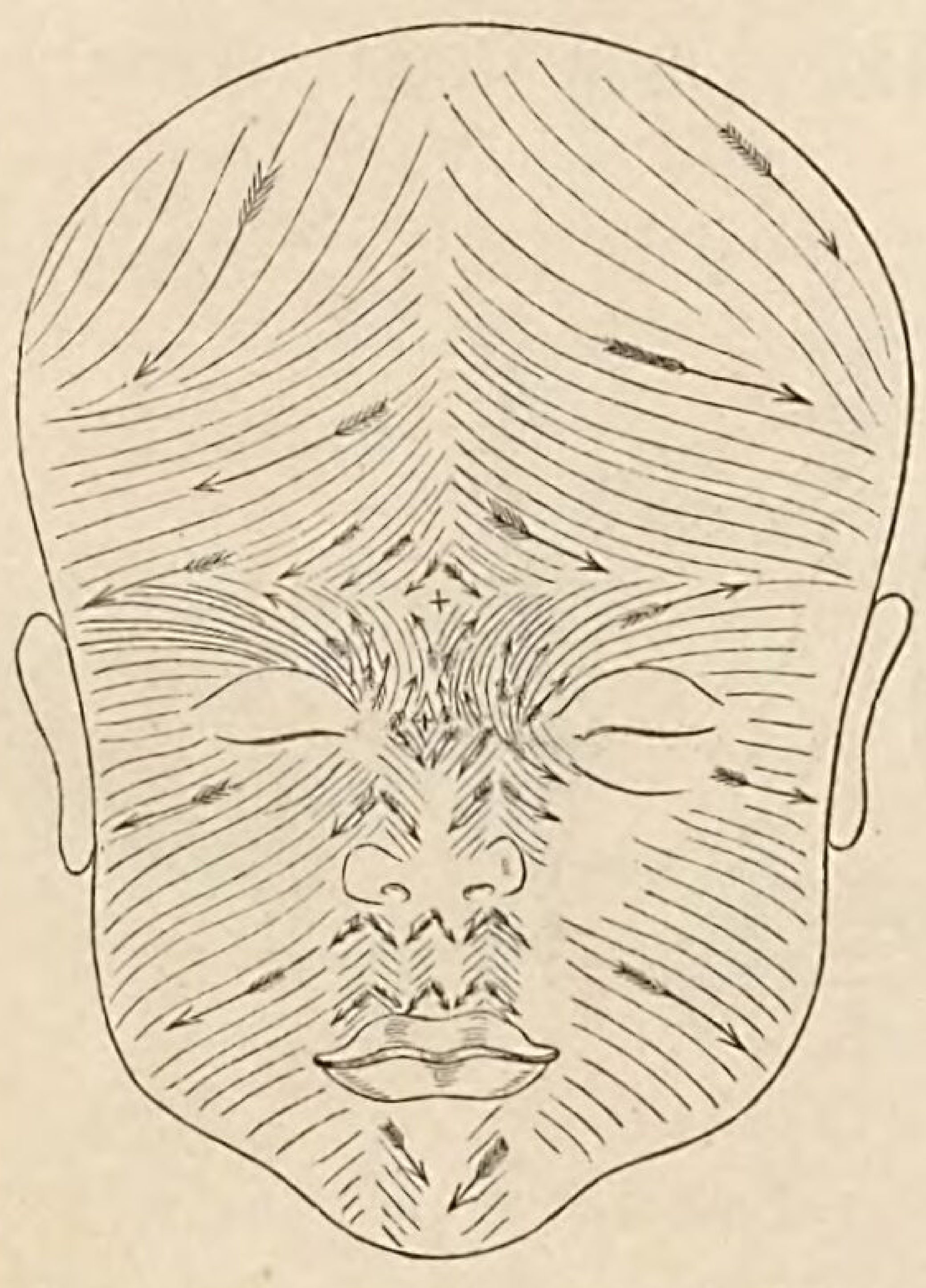


Fellartige Behaarung von „Muttermälern" an einem Mädchen. Vgl. Text, S. 170.

seitlich umgekehrt ist. Das ist der Grund, warum diese Mißbildung keinerlei Störungen in der Organthätigkeit hervorzubringen pflegt, so daß die Umkehr der Eingeweide selten, am seltensten schon während des Lebens erkannt wird. Diese Umkehr wird lediglich dadurch veranlaßt, daß sich die Frucht nicht links, sondern rechts auf die Keimblase krümmte (vgl. Text, S. 144). Manchmal ist die Umlagerung auf die Lungen beschränkt, manchmal auf den Verdauungsschlauch oder auf die Unterleibsorgane. An den Lungen wurde vermehrte und verminderte Lappung beobachtet. Am Herzen finden sich zahlreiche hierher gehörige Mißbildungen, welche sich teils als Defekte, teils als Hemmungsbildungen, größtenteils aber als fehlerhafte Umbildungen der ursprünglichen Gefäßanlagen in die bleibenden Formen charakterisieren und in der Überzahl der Fälle auf Gefäß- und Herzerkrankungen im Fruchtleben zu beziehen sind, wodurch ganz ähnliche Veränderungen an den befallenen Organen sich ergeben wie im späteren Leben. Auch Harn- und Generationsorgane unterliegen derartigen Fehlbildungen, letztere gar nicht selten, und sie sind es, welche am häufigsten einen Hermaphroditismus vortäuschen.

Von den gewöhnlich hierher gerechneten Mißbildungen, zum Teil übrigens sich vollkommen an die eigentlichen Defektbildungen anschließend, sind vor allen jene des Auges untersucht. An den Augenlidern findet sich selten ein angeborener Verschluß. Anderseits können die Augenlider ungewöhnlich kurz sein, so daß sie den Augapfel nicht vollkommen decken, ein Zustand, der populär als „Hasenauge" bezeichnet wird. Augenbrauen und Wimpern können fehlen. Die Regenbogenhaut des Auges kann ganz oder teilweise mangeln, anormale Spalten und neben ihrem normalen

runden Zentralloch, der Pupille, noch seitliche Öffnungen besitzen. Oder die Pupille steht ganz seitlich, so daß in den extremsten Fällen die Iris, die Regenbogenhaut, hufeisenförmig erscheint. Auch die Gestalt der Pupille unterliegt damit verschiedenen Störungen; anstatt rund, kann sie unregelmäßig gestaltet sein. Am häufigsten ist die ovale oder längsovale Form in senkrechter oder horizontaler Richtung oder in irgend welcher anderer Verschiebung. Auch jenes blutgefäßhaltige Häutchen, welches während der Entwickelung die Pupille verschließt, die Pupillarmembran, kann nach der Geburt erhalten sein und den Eintritt des Lichtes in das Auge hindern. An den inneren Augenteilen treten als Reste von Erkrankungen während des Eilebens zahlreiche Defekte und Verbildungen auf. Das äußere Ohr, dessen mögliche Vervielfältigung wir oben erwähnten, kann dagegen auch vollständig fehlen, mehr oder weniger tief gegen den Hals zu herabgedrückt sein; der äußere Gehörgang findet sich manchmal falsch gerichtet oder in verschiedener Weise verschlossen. Bei Taubstummen hat man auch, aber keineswegs immer, angeborene Mißbildungen des inneren Gehörapparates aufgefunden.



Richtung der Wollhaare im Gesicht des Neugeborenen.

Unter den Mißbildungen der **Körperhaut** sind die sogenannten **Mutter-** oder **Feuermäler** am bekanntesten. Sie beruhen auf Gefäßerweiterungen in der Haut und bilden entweder kleine, glatte, hell- oder dunkelrote Geschwülste mit körniger Oberfläche (jene vielberühmten Himbeer- oder Brombeergeschwülste), oder sie sind über große Flächen der Haut, oft des Gesichtes, manchmal auch über weite Körperstrecken verbreitet. In anderen Fällen besteht das dann meist dunkel gefärbte und oft mit starkem Haarwuchs bedeckte „Muttermal" nur in einer lokalen Überernährung, Hypertrophie, der Haut, jedoch ohne reichlichere Gefäßerweiterung. Die Muttermäler erzeugen manchmal eine geradezu **fellartige Behaarung** öfters über größere Körperstrecken hin. Einen derartigen, zu Königsberg in Preußen beobachteten Fall bei einem jugendlichen Mädchen zeigt die Abbild. S. 169.

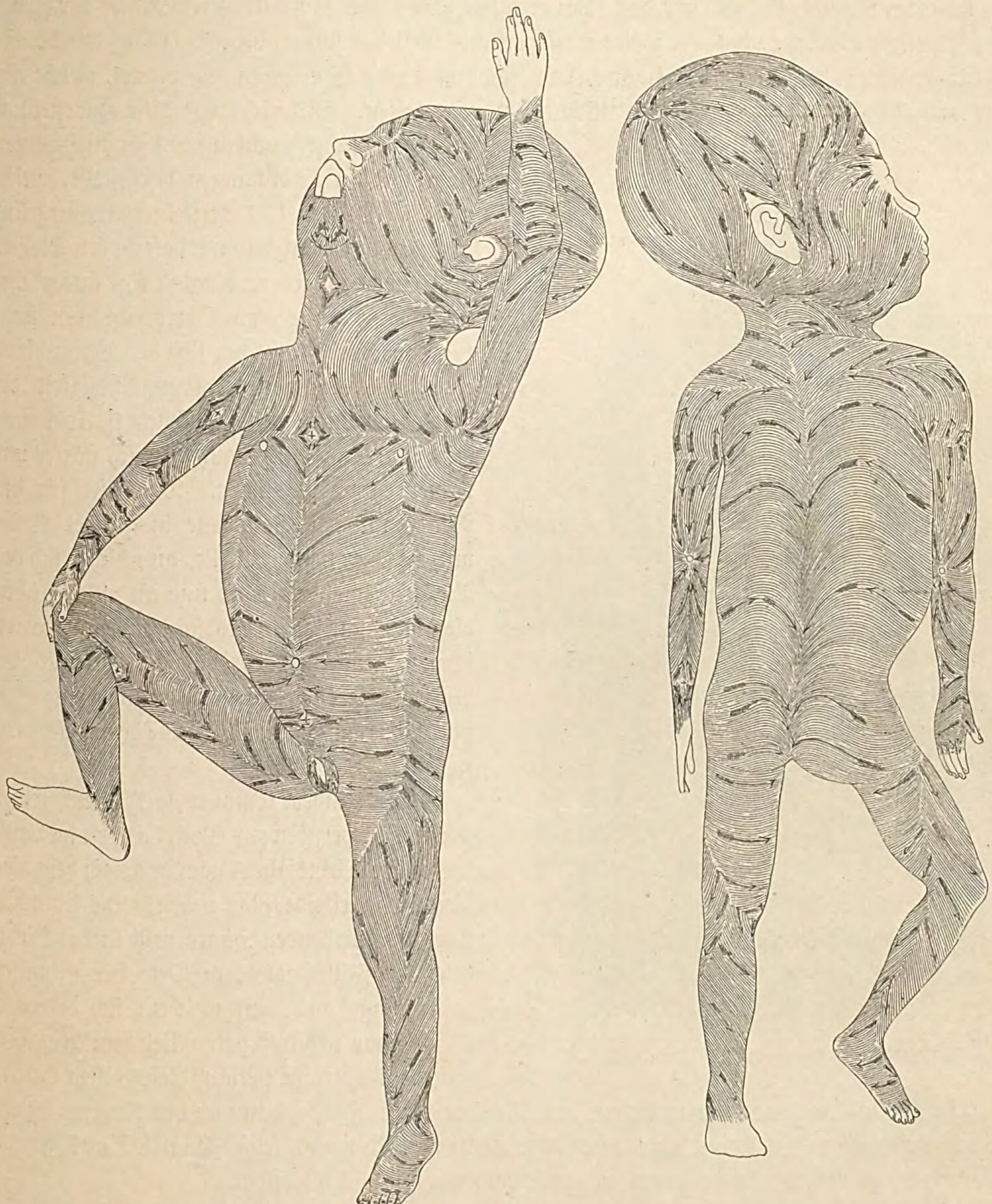
In anderen Fällen aber erweist sich die übermäßige, manchmal ebenfalls beinahe fellartige Behaarung der nicht krankhaft veränderten Haut von Neugeborenen und Erwachsenen, welche schon in alter Zeit als besonders „tierähnlich" (Affen-, Löwen-, Bären-, Hundemenschen) angesprochen wurde, als beruhend auf einem Fortbestehen oder einer Fortbildung des vollkommenen Haarkleides, welches der Mensch während einer gewissen Periode seines Fruchtlebens besitzt.

Haarmenschen.

Schon dem Altertum und dem Mittelalter war eine Erscheinungsanomalie des Menschen als besonders „tierähnlich" aufgefallen, welche auch in der neuesten Zeit durch eine Anzahl sehr ausgebildeter Fälle, die rasch hintereinander zur Beobachtung kamen, wieder eine allgemeinere Aufmerksamkeit auf sich gelenkt hat: die **übermäßige Behaarung** bei dem Menschen.

Unter den spezifischen Eigentümlichkeiten der Menschenbildung fällt die Haarlosigkeit der Körperoberfläche vor allen auf; sie scheint den Menschen vorzugsweise von den Säugetieren zu unterscheiden, welche mit wenigen Ausnahmen alle einen mehr oder weniger dichten Pelz tragen.

Bei näherem Studium der Hautbildung des Menschen läßt sich aber dieser scheinbar so ausschlaggebende Unterschied zwischen Mensch und Tier nicht festhalten. Auch der Mensch gehört anatomisch zu den „Haartieren", und die Anordnung der Haare auf der Haut des Menschen entspricht



Die Richtung der Wollhaare am menschlichen Körper nach der Geburt.

trotz ihrer Spärlichkeit und der Feinheit der meisten Haare sehr vollkommen der bei dem dichteren Pelz der Pelztiere. Die samtartige Weichheit der Haut des neugeborenen Kindes wie die der Wange eines jugendlichen Mädchens rühren beide von den feinen, fast farblosen Härchen her, welche die Haut bedecken. Diese Härchen werden als Flaumhaare oder Wollhaare, Lanugo, von den gröberen Haaren am Kopfe und den übrigen bei den Erwachsenen stärker behaarten Teilen der Körperoberhaut unterschieden. Daß der Mensch zu den Haartieren zu rechnen und, wie diese,

fast an seiner ganzen äußeren Körperfläche behaart sei, ist keineswegs eine neue Erfahrung, und die Wissenschaft vom Menschen hat daran niemals gezweifelt.

Während der späteren Entwickelungsmonate vor der Geburt, und zwar am ausgeprägtesten im siebenten Monat, ist, wie wir das oben erwähnt haben, die ganze Körperoberfläche der Frucht mit diesem Flaumhaar, das ein zartes und zierliches Pelzchen bildet, bedeckt. Ganz wie bei den Pelztieren stehen die Härchen in Haarwirbel, Haarkreuze und Haarfluren angeordnet, welche eine Art von Scheitelung in bestimmten Richtungen veranlassen. Eschricht hat diese Haarstellung der menschlichen Frucht auf das genaueste untersucht und in Abbildungen dargestellt, welche wir S. 170 und 171 verkleinert wiedergeben.


Bärtige Dame (nach M. Bartels).

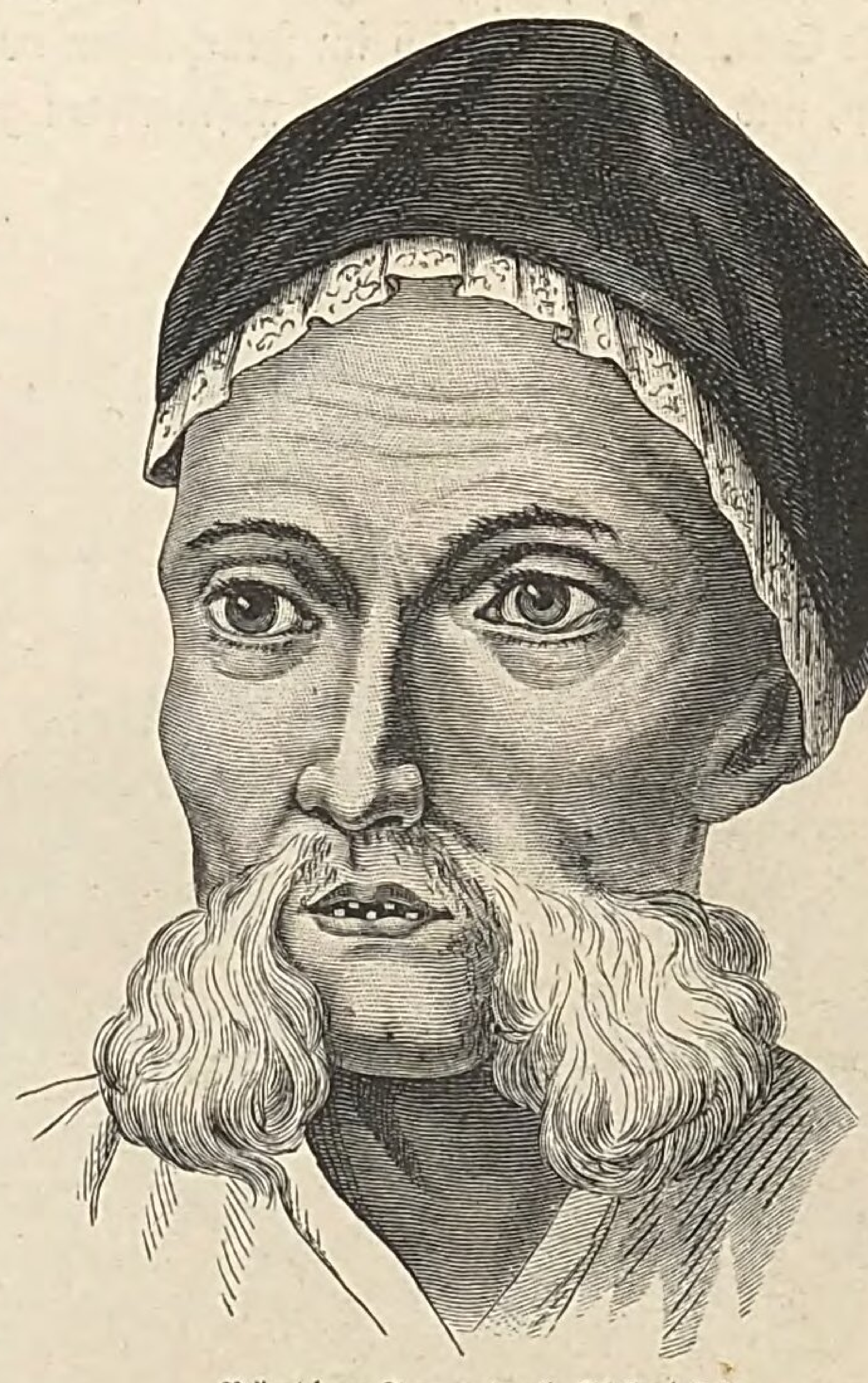
Es ist bemerkenswert, daß an den Stellen, an welchen zur Körperbildung eine ausgedehntere Verwachsung von Oberhautflächen stattfand, wo wir also in der Zeit der Verwachsung eine lokal gesteigerte Bildungsthätigkeit der Haut beobachten, z. B. im Gesicht (s. Abbildung S. 170), die feinen Wollhaare sich stärker und dichter entwickelt finden. Das gilt für den Rücken und die Bauchseite in gleicher Weise, und an jener tiefsten Stelle, an welcher sich das Rückgrat zuletzt schließt, und an welcher überdies die Haut durch das sich zeitweilig stärker, schwanzartig hervordrängende Endstück der Wirbelsäule, den Steißhöcker, gedehnt wird, pflegt die Haarentwickelung eine besonders starke zu sein.

Die Kinder kommen mit ihrem feinen Flaumhaarpelzchen zur Welt, das erst im Laufe des ersten Lebensjahres nach und nach dem bleibenden Haarkleide Platz macht. Die Entwickelung der bleibenden Haare geht in der Mehrzahl der Fälle von dem Orte der primären Haaranlage aus, auf welchem sich das erste Flaumhaar gebildet hat. Bei dem Neugeborenen entstehen im Verlauf dieses ersten Haarwechsels zuerst an der Kopfhaut dickere, mit Mark versehene Haare, dann an den Augenwimpern und Augenbrauen; die übrige Körperoberfläche erhält nun ein neues, feines Haarkleid aus Flaumhärchen, die gewöhnlich sogar feiner und unscheinbarer sind als die ersten.

Mit der Ausbildung der Geschlechtsreife werden die Flaumhaare zuerst bei beiden Geschlechtern gleichmäßig in den Achselgruben und an der Haut der Vorderseite des Rumpfendes durch dickere Haare mit Mark ersetzt. Bei dem männlichen Geschlecht in höherem, bei dem weiblichen Geschlecht gewöhnlich in geringerem Grade beginnen nun am ganzen Körper die Flaumhärchen zu wachsen und sich namentlich bei dunkler Kopfhaarfarbe stärker zu färben. Es ist sehr bemerkenswert, daß diese gesteigerte Ausbildung des Flaumhaarkleides bei den Menschen am stärksten an jenen Körperstellen aufzutreten pflegt, welche sich schon bei dem neugeborenen Kinde mit den dichtesten und längsten Haaren bewachsen zeigen. Bei dem Manne bildet sich der Gesichtsbart

aus, die Mittellinie seines Rückens zeigt sich oft mit einem dunkleren Haarsaum besetzt, und ein ähnlicher Haarsaum läuft bei ihm ziemlich regelmäßig über die Mittellinie des Vorderkörpers aufwärts, um sich auf der Brust zu einer größeren behaarten Fläche zu verbreitern. Aber auch an Armen und Beinen, an der Rückenfläche der Finger werden die Härchen mit jedem Haarwechsel stärker und mehr gefärbt.

Das weibliche Geschlecht, welches in seiner Körperausbildung in vielen Beziehungen zeitlebens dem kindlichen Typus näher bleibt als das männliche, läßt gewöhnlich dieses gleichsam jugendliche Verhalten auch in Beziehung auf den Ersatz der zarten, wenig oder nicht gefärbten Flaumhaare durch stärkere, längere, mehr gefärbte erkennen. Aber ebenso wie es zahlreiche vollkommen erwachsene Männer gibt, welche sich in der Behaarung niemals in höherem Maße von dem Typus der weiblichen Behaarung unterscheiden, so finden sich umgekehrt im weiblichen Geschlecht nicht selten Individuen, welche eine mehr oder weniger männliche Behaarung besitzen. In Europa, namentlich bei dunklerer Haar- und Hautfarbe, bei Brünetten, sehen wir beim weiblichen Geschlecht relativ häufig die Flaumhaare an der Oberlippe sich verlängern und sich zu einem Schnurrbärtchen färben; dasselbe ist, aber schon weit seltener, am Kinn und an den Seitenpartien des Gesichts und Halses der Fall (s. Fig. 1, S. 177). Sehr selten hat man bei Frauen die Mittellinie des Vorderkörpers, etwas häufiger die Brust behaart gefunden. Dagegen sind dunklere und längere Haare an Armen und Beinen bei Frauen keineswegs eine Seltenheit.



Bärtige Frau (nach Eschricht).

Bei jüngeren Frauen (s. Abbildung, S. 172) soll es seltener zur Entwickelung eines eigentlichen Bartes kommen als bei älteren, schon in das Matronenalter eingerückten (s. nebenstehende Abbildung). Es erinnert das daran, daß sich bei weiblichen Vögeln (namentlich ist das von den Haushühnern bekannt, wenn sie aufgehört haben zu legen) manchmal die Eigentümlichkeiten des männlichen Vogels entwickeln; sie bekommen Sichelfedern am Schwanze, Kamm und Sporen und sogar die Stimme und Kampflust des Hahnes. Die Haare im Barte der alten Frauen pflegen meist relativ wenig zahlreich, aber stark und borstenförmig zu sein und mit dem Alter an Zahl zuzunehmen; gleichzeitig wird auch die Stimme öfters rauher und tiefer. M. Bartels hat eine beträchtliche Anzahl solcher bärtiger Frauen beschrieben.

Aber die Ausbildung einer stärkeren Behaarung kann sich auch auf Körperstellen erstrecken, welche im erwachsenen Alter bei keinem der beiden Geschlechter in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle eine stärkere Entwickelung des alten Flaumhaarkleides erkennen zu lassen pflegen. Diese Fälle führen dann ganz stufenweise zu jenen über, welche fast den ganzen Körper in tierartiger Weise mit Haaren besetzt zeigen. Das Typische an diesen Fällen stärkerer Behaarung ist, daß sie, wie es scheint, zunächst an den Stellen auftreten und von den Stellen bei allgemeiner Verbreitung über den Körper ausgehen, welche schon bei dem ungeborenen Kinde eine stärkere Entwickelung des Haarkleides zeigen. Das Auftreten der stärkeren Behaarung deutet also auf eine auf die

Entwickelungsgeschichte der Frucht zurückgreifende Gesetzmäßigkeit und schließt sich damit den oben (S. 159 ff.) eingehend beschriebenen, aus dem Fruchtleben sich erklärenden „angeborenen Mißbildungen" des menschlichen Körpers an.

Für die teilweise regelwidrige Überbehaarung des menschlichen Körpers sind es besonders zwei Stellen, welche von dieser gleichsam mit Vorliebe gewählt werden; das Gesicht und das untere Rumpfende des Körpers über dem Kreuzbein, welches als Endstück des Rückgrates ein mit der Spitze nach abwärts und normal einwärts gewendetes Dreieck bildet.

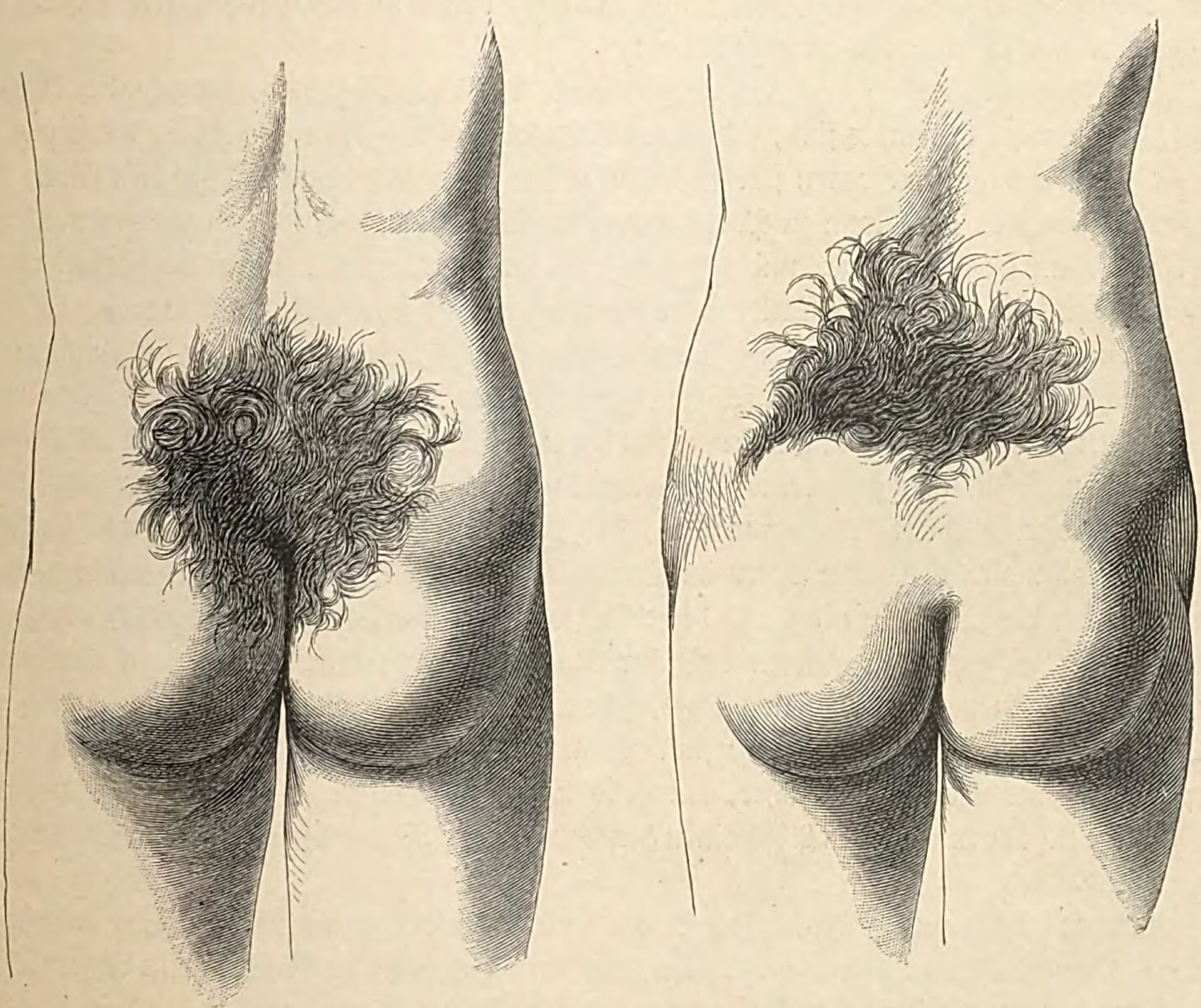
An der letzteren Stelle befindet sich während des Fruchtlebens ein längeres Haarschwänzchen, dessen Haare auch jene spiralige Stellung zeigen wie die Haarquaste am Ende eines Tierschwanzes. Diese Stelle verschließt sich im Fruchtleben von der ganzen Mark- und Rückgratsröhre am spätesten, und A. Ecker hat darauf aufmerksam gemacht, daß hier der Bildungszustand der Frucht, ganz abgesehen von gröberen Mißbildungen, oft geringere Formabweichungen zurückläßt. An dieser Stelle sehen wir hier und da eine dichtere, manchmal sogar eine sehr dichte Behaarung, Sakraltrychose, deren Haare sich stärker, schwanzartig, verlängern können (s. Abbildung, S. 175, Fig. 1).


Dame mit der Pferdemähne (nach Virchow).

In Fig. 2 auf S. 175 ist die schwanzartige Behaarung des unteren Teiles des Rückens einer Frau dargestellt, bei welcher Virchow nachgewiesen hat, daß die Üeberbehaarung über einer krankhaft veränderten Partie des Rückgrates steht, von welcher die Haut bei oberflächlicher Betrachtung keine Spuren erkennen läßt. Es ist hier infolge krankhafter Prozesse im Fruchtleben ein vollständiger Verschluß des Rückgrates nicht eingetreten, es besteht an dieser Stelle eine „verborgene Rückgratsspalte", eine Spina bifida occulta. Solche verborgene Spalten, welche stets eine krankhafte Wachstumsreizung an den betroffenen Stellen voraussetzen lassen, erhalten sich gelegentlich auch an anderen Teilen des Rückgrates; Virchow fand sie bei der Dame mit der Pferdemähne, deren Abbildung wir obenstehend geben. Am Rücken des jungen Mädchens zeigt sich, vom fünften Halswirbel bis etwa zum siebenten Rückenwirbel reichend, in der Breite von 3 bis 5 cm ein dichter Schopf von langen blonden, dem Haupthaar gleichen Haaren. Der Fall ist sehr interessant und nimmt unter den bisher bekannten dorsalen Haarschwänzen wegen der Länge und des Reichtums der Haare vielleicht den ersten Platz ein. Drei ähnliche Fälle, bei welchen die Überbehaarung auch über einer deutlich abtastbaren Spalte oben an der Lendenwirbelsäule saß, haben C. Brunner und Krönlein beobachtet; zwei dieser Lendenüberbehaarungen zeigten inmitten des Haarfeldes eine von einem starken Blutgefäßnetz durchzogene völlig kahle Narbe, der dritte Fall zeigte eine nabelartige kleine Geschwulst als geschrumpften Sack einer ehemaligen wahren Spina bifida cystica.

Auch die bei dem Manne regelmäßig nur teilweise Behaarung des Gesichts kann bei beiden Geschlechtern von Jugend auf eine beinahe oder wirklich vollkommene werden. Bei haarreichen Männern sieht man sehr häufig nicht nur die Seitenränder des Gesichts, sondern auch die Wangen in verschiedenem Grade mit dem Backenbart besetzt. Ebenso häufig sehen wir bei beiden Geschlechtern die Augenbrauen miteinander verschmelzen oder von der normalen Haargrenze das Haar über die Stirn herein gegen die Nasenwurzel rücken oder in den Ohren Haarquasten wachsen. Aber das sind nur kleine Anfänge gegen jene vollkommene Behaarung des Gesichts, welche man bei den sogenannten „Hunde- oder Bärenmenschen" in älterer und wieder mehrfach in neuerer Zeit beobachtet hat.

1 2



Kreuzbeinbehaarung: 1) Grieche (nach Ornstein), 2) Weib (nach Virchow).

Bei den vollkommen typischen Fällen, z. B. an den 1873 in Deutschland gezeigten russischen Haarmenschen (Fig. 4, 5, 6, S. 177), sind im Gesicht nicht nur diejenigen Stellen stark behaart, welche bei dem erwachsenen Manne den Bart zu tragen pflegen, sondern eine dichte Behaarung geht von diesen Stellen ununterbrochen über die Wangen bis zur Nase und zu den Augen und über die vordere Ohrmuschel fort, während das Kopfhaar die ganze Stirn einnimmt und erst an der Nasenwurzel endet. Mit den dem Menschen nächststehenden menschenähnlichen Affen hat aber diese abnorme Behaarung des Gesichtes keine Ähnlichkeit. Das Gesicht der menschenähnlichen Affen ist, wie das des Menschen, normal unbehaart. Das Verhältnis ist bei ihnen insofern auch dem bei dem Menschen entsprechend, als das später unbehaarte Gesicht bei der ungeborenen Frucht, wie man namentlich bei dem Orang-Utan beobachtet hat, wie bei der Menschenfrucht mit Flaumhärchen bedeckt ist.

Die übermäßige und abnorme Behaarung des Gesichts kommt bei dem männlichen wie weiblichen Geschlecht vor und zwar in gleicher Häufigkeit. Das regelwidrige Haarkleid war in allen Fällen, die man in neuerer Zeit darauf genauer untersuchen konnte, weich, mit einziger Ausnahme der berühmten Julia Pastrana aus Mexiko, deren Gesichtsbehaarung überhaupt mehr einem entwickelten männlichen Barte entsprach (Fig. 2, S. 177).

Die Überbehaarung ist, wie viele andere Mißbildungen, namentlich auch solche, welche die äußere Haut betreffen, erblich. Die Vererbung ist dreimal bis in die zweite, einmal sogar bis in die dritte Generation nachgewiesen worden. Th. v. Siebold beschrieb die Abbildungen einer haarigen Familie aus der kostbaren Sammlung der kunstliebenden Philippine Welser im Schlosse Amras bei Innsbruck (s. Abbildung, S. 178). Der Vater wird als ein Edelmann „aus München" bezeichnet, es war aber wahrscheinlich derselbe, von dem uns durch Felix Plater eine Beschreibung nach dem Leben aufbehalten ist:

„Das jedoch ist wahr, daß man gewisse Leute beiderlei Geschlechts, vornehmlich Männer, findet, die haariger als andre sind, und deren Schenkel und Arme, deren Bauch, Brust und das ganze Gesicht von langen Haaren starren, welcher Art ich viele gekannt und gesehen habe. Aus der Zahl dieser war ein Mann zu Paris wegen der seltenen Behaarung seines ganzen Körpers dem König Heinrich II. sehr wert und verkehrte an dessen Hofe, der am ganzen Körper und überall im Gesicht, mit Ausnahme der Stelle unter den Augen, mit sehr starker Behaarung bedeckt war und in den Augenbrauen und auf der Stirn so sehr lange Haare hatte, daß er sie, damit sie das Sehen nicht hinderten, aufwärts zu frisieren gezwungen war. Dieser nahm ein Weib, das glatt und anderen Frauen gleich war, und zeugte mit ihr ebenfalls behaarte Kinder, welche der Herzogin von Parma nach Flandern gesendet worden waren, und die ich, als sie mit der Mutter nach Italien übergeführt wurden, der Knabe neunjährig, das Mädchen siebenjährig, hier in Basel im Jahre 1583 sah und malen ließ. Sie waren im Gesicht behaart, der Knabe mehr, das Mädchen etwas weniger; auch die ganze Gegend längs des Rückgrates war rauh von sehr langen Haaren."

Im Vergleich mit dem älteren russischen Hundemenschen, dessen Gesicht von unordentlich hängenden Haaren verhüllt zu sein pflegte, sehen die Amraser Bilder geradezu schön aus, und das Tierähnliche tritt sehr viel mehr zurück. Beim Russen Andrian Testichew ist auch am ganzen Körper der Haarwuchs ein reichlicher, am Hals und Rücken bildet er eine Art Übergangszone, am Rumpfe steht er in einzelnen Abschnitten dichter, während die dazwischenliegenden Stellen dünn behaart sind.

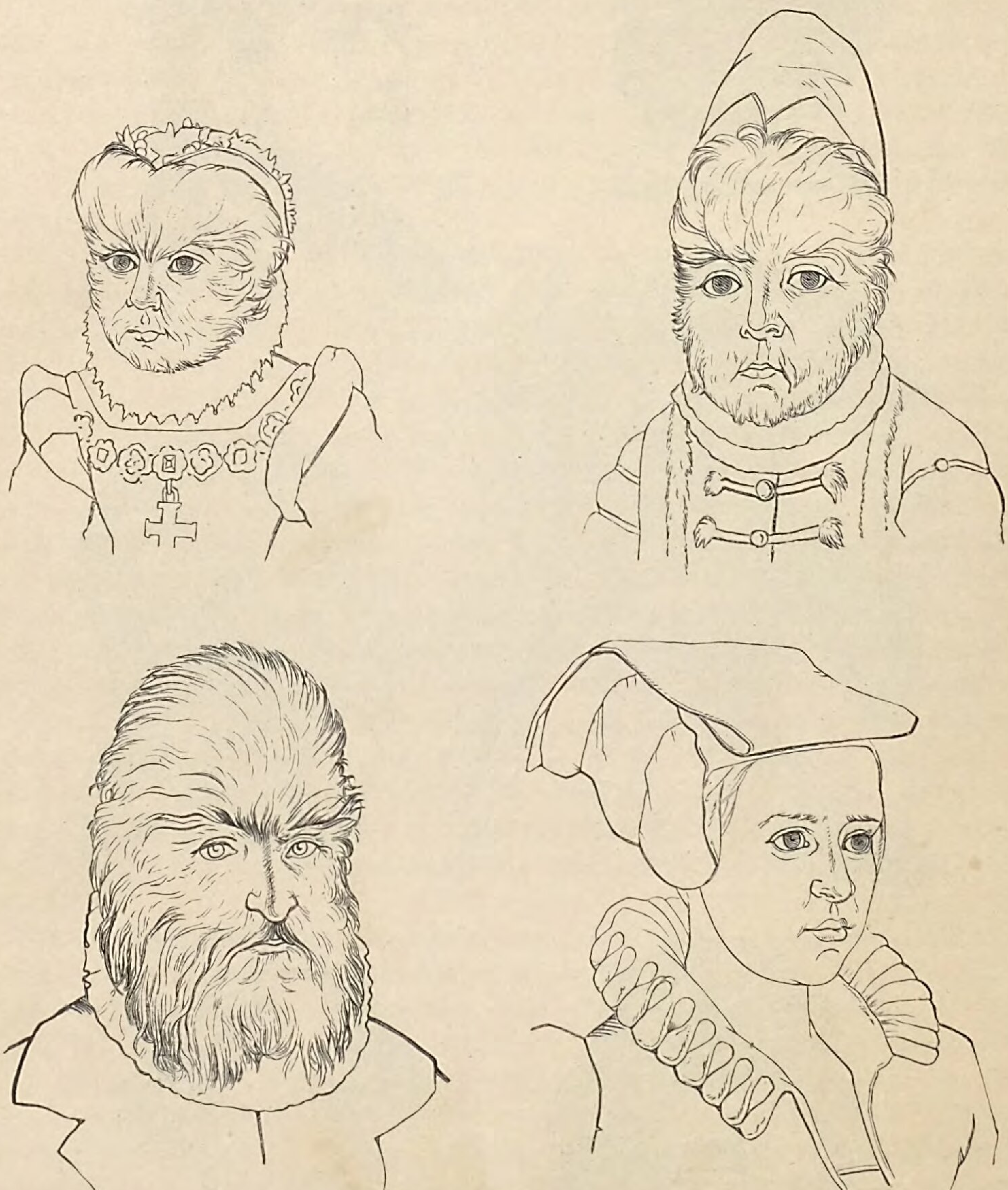
Auch aus Asien und Amerika sind in der neueren Zeit Haarmenschenfamilien bekannt geworden. Der Stammvater einer berühmten asiatischen Haarmenschenfamilie heißt Shwe-Maong und wurde in Lao am Martabanfluß geboren, und auch das in neuester Zeit in Europa gezeigte haarige Mädchen Krao soll aus Ostasien stammen. Die Mexikanerin Julia Pastrana, welche 1860 an der Geburt eines ebenfalls stärker behaarten Knaben starb (Fig. 3, S. 177), wurde bereits erwähnt.

Aus den mitgeteilten Thatsachen ergibt sich, daß unter Umständen die gesamte Flaumhaarbekleidung der menschlichen Frucht, welche, wie wir sahen, das neugeborene Kind wenig verringert mit zur Welt zu bringen pflegt, entweder sofort nach der Geburt oder im Verlauf der ersten Lebensjahre eine stärkere Entwickelung zu erleiden vermag, durch welche in den extremsten Fällen beinahe der ganze Körper des Erwachsenen ein mehr oder weniger dichtes Haarkleid erhält. In der Mehrzahl der Fälle beschränkt sich die Überbehaarung bei dem Erwachsenen auf jene Körperstellen, welche schon während des Fruchtlebens mit stärker entwickelten Flaumhaaren bekleidet zu sein pflegen. Die abnorm starke Behaarung beruht somit nach Ecker und Bonnet in einer Persistenz und abnormen Entwickelung der normalerweise



Köpfe verschiedener Haarmenschen.
1) Mädchen mit leichter Überbehaarung; 2 und 3) Julia Pastrana und Kind; 4, 5, 6) die „russischen Haarmenschen“.
Vgl. Text, S. 175 und 176.

nur zum kleinen Teil persistierenden Primärhaare, Lanugo, oder fötalen Flaumhaare. Es ist das eine Art Zurückbleiben auf entwickelungsgeschichtlich niedriger Stufe, da bei der normalen Haarentwickelung ein Wechsel des Flaumhaares und dann erst das Hervortreten des sekundären Haares erfolgt.



Haarige Familie von Amras.

Namentlich jene Fälle, welche unter der Wirkung krankhafter oder wenigstens regelwidrig gesteigerter Hautreize eine Verwandlung der Flaumhaare in stärkere und stärker gefärbte Haare oder wenigstens eine pelzartige Entwickelung der Flaumhaare, ähnlich wie am Kopfe der Neugeborenen, auch an anderen Körperstellen hervorbringen, geben uns Fingerzeige über die Ursachen auch jener Fälle von übermäßiger Haarbildung, bei welchen die Haut eine krankhafte Veränderung

nicht erkennen läßt. Halten wir an dem Satze fest, daß sich die Flaumhaare an den Hautstellen am stärksten entwickeln und im späteren Leben hier am ersten und häufigsten in stärkere Behaarung übergehen, welche während des Fruchtlebens eine gesteigerte physiologische Wachstumsreizung erfuhren, so wird uns daraus jene Gruppe von Überbehaarungen verständlich, die auf Hautstellen auftreten, welche zeitweilig durch krankhafte Ursachen einer gesteigerten Wachstumsreizung, wie bei den oben beschriebenen Rückgratspalten, unterlagen.

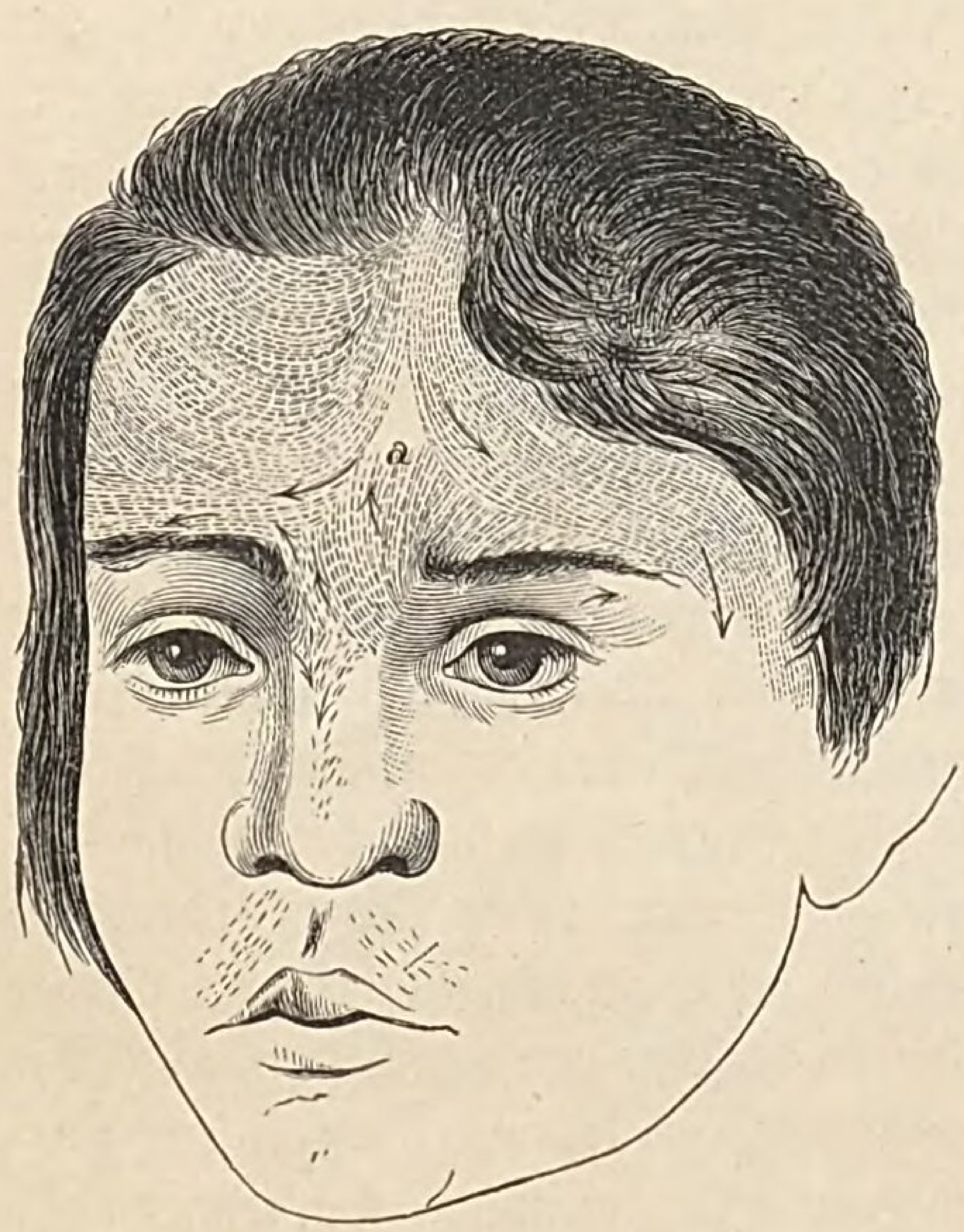
Man pflegt von der typischen Überbehaarung jene zahlreichen Fälle zu trennen, bei welchen sich die anormal starke Behaarung auf Körperstellen zeigt, die einen fortbestehenden höheren krankhaften Reizzustand der Haut erkennen lassen. Es sind das die schon auf S. 170 erwähnten behaarten Muttermäler und die behaarten Warzen. Bei manchen behaarten Warzen sind die daraufstehenden einzelnen Haare von starkem Durchmesser, ähnlich den Spürhaaren mancher Tiere. Die behaarten Muttermäler sind, wie die Warzen, die Erzeugnisse lokal krankhaft gesteigerter Hautthätigkeit. Meist besteht das behaarte Muttermal aus einer rundlichen oder ovalen, manchmal unregelmäßiger begrenzten Hautstelle, welche verdickt und gewöhnlich dunkelbraun oder selbst schwarz gefärbt erscheinen kann; diese ganze Stelle pflegt mit dunkeln, dichten, weichen oder rauheren Haaren besetzt zu sein. Die haarigen Mäler sind meist nicht sehr groß, der Durchmesser kann aber von etwa einem Zoll an so sehr ansteigen, daß ein großer Teil des Körpers von ihm bedeckt wird (s. Abbildung, S. 169). Dabei können sie auch in beträchtlicher Anzahl bei demselben Individuum, und zwar große und kleine nebeneinander, vorkommen. Und nach den von Siebold, H. Ranke und Eschricht beschriebenen Fällen haben wir es auch in diesen Überbehaarungen an Muttermälern nur mit einer stärkeren Entwickelung des normalen Haarkleides der menschlichen Frucht zu thun, beruhend auf einem während des Fruchtlebens gesteigerten Reizzustand der Haut.

Selbstverständlich bringt keineswegs jeder irgendwie gestaltete krankhafte Prozeß in der Haut während des Fruchtlebens eine Steigerung des Wachstums der Haaranlagen hervor. Gerade so, wie es krankhaft überbehaarte Stellen gibt, finden sich im Gefolge von Hautleiden, und zwar auch solchen, welche während des Fruchtlebens eingetreten sind, vollkommen haarlose Hautstellen, bei welchen infolge des Krankheitsprozesses der Haut die Haaranlagen vollkommen zerstört worden oder gar nicht zur Ausbildung gelangt sind. Diese Fälle leiten zu jener angeborenen Mißbildung über, bei welcher in mehr oder weniger ausgedehntem Maße die ganze Haut zerstört erscheint und vollkommen fehlen kann. In manchen Fällen des Haarmangels (Hypotrichosis) handelt es sich nach Bonnet nicht um einen dauernden Haarmangel, sondern nur um verzögerte Anlage und um verzögerten Durchbruch der abnorm spät sich entwickelnden Haare.

Die von uns angeführten Fälle genügen, um zu beweisen, daß an Stellen, an welchen die Wachstumsenergie während des Fruchtlebens eine normale oder krankhaft gesteigerte gewesen ist, sowohl von vornherein die Bekleidung mit Flaumhaaren eine stärkere wird, als auch im späteren Leben der Übergang von Flaumhaaren in dickere und stärker gefärbte Haare mit Regelmäßigkeit eintritt. Damit sind diese so dunkel erscheinenden Fälle von „tierähnlicher Behaarung“ als angeborene Mißbildungen oder in anderen Fällen als Fortbildungen einer im Fruchtleben acquirierten anormalen Anlage erkannt und damit der Reihe der übrigen Mißbildungen der Menschengestalt, von denen wir in den vorhergehenden Abschnitten handelten, angeschlossen.

Wir haben oben erwähnt, daß eine Anzahl ganz ähnlicher Mißgestaltungen, wie wir sie als angeborene Mißbildungen antreffen, sich auch erst im späteren Leben durch krankhafte Prozesse herausbilden können; wir erinnern z. B. an Klumpfuß, Plattfuß, Klumphand und anderes mehr. Ebenso kann auch die Überbehaarung als Folge einer erst im erwachsenen Leben eintretenden Hautreizung auftreten. Die Anlage dazu ist ja in den Flaumhaaren und der Möglichkeit ihrer gesteigerten Entwickelung am ganzen Körper gegeben.

Die aus der Litteratur gewonnenen Erfahrungen werfen vielleicht auch einiges Licht auf die meist allgemein stärkere Behaarung der Körperhaut bei Völkern, welche bekleidet gehen, gegenüber derjenigen der meisten nackten Naturvölker. Vielleicht handelt es sich hier zum Teil um einen Hautreiz durch die Kleider und die durch dieselben zurückgehaltenen Hautausdünstungen. Allgemein gilt aber diese Ursache sicherlich nicht, denn auch bei wenig bekleideten Naturvölkern finden wir die Anlage zur Überbehaarung. So sind die Australier und Tasmanier stark behaart. N. von Miklucho-Maclay berichtet, daß viele der Einwohner von Westmikronesien stark behaart an Rumpf und Beinen sind und außerdem die Haare, wie bei Europäern, nicht selten einen vom Nacken anfangenden, am Rücken herunterlaufenden Zug bilden. Außerdem soll die Besetzung der ganzen Stirn mit meist feineren Wollhaaren nicht selten sein (s. nebenstehende Abbildung). Die selbst ziemlich wenig behaarten Japaner schilderten die berühmten Aino auf Jesso als „die Haarigen“. Nähere Untersuchungen ergaben aber, daß sie am Körper im allgemeinen nicht mehr behaart sind als viele Europäer; dabei pflegen sie langes Haupthaar und langen Bart zu tragen. Die Neger und ebenso die amerikanischen Indianer, die Malayen und im allgemeinen die mongolische Rasse sind dagegen viel weniger behaart als viele Europäer, unter denen hierin nach Bartels namentlich die Juden hervorragen sollen. Neben einer abnorm reichlichen Behaarung kommt selbständig oder mit dieser verbunden auch ein abnorm langer Haarwuchs meist an den normal behaarten Körperstellen zur Beobachtung.



Kopf eines Mädchens mit behaarter Stirn von einer Insel Westmikronesiens. Die Pfeile zeigen die Richtung der Haare an.

Die übermäßige, pelzartige Entwickelung des fötalen Flaumhaares, die eigentliche Überbehaarung (Hypertrichosis lanuginosa) mit vorwiegender Beteiligung der Gesichtshaut, gibt sich auch dadurch als eine Störung, welche auf einer allgemeineren Basis beruht, zu erkennen, daß, wie es scheint, fast ausnahmslos gleichzeitig die Zahnentwickelung in höherem oder geringerem Grade beeinträchtigt ist. Wie die Überbehaarung im Gesicht selbst, fallen, worauf namentlich R. Virchow hingewiesen hat, die Störungen der Zahnentwickelung in das Gebiet des Trigeminus, des dreigeteilten Nerven, welcher der Empfindungs- und Ernährungsnerv des Gesichtes wie der Zähne ist (s. Abbildung, S. 181). Der Trigeminus ist der Nerv, dessen Reizzustand jene Hölle von Schmerzen hervorruft, welche als Gesichtsschmerzen bekannt sind. Bei Lähmung des ernährenden Einflusses des Trigeminus hat man Spröde- und Struppigwerden der Haare, Ergrauen und Ausfallen derselben, umschriebene Hautentzündungen, auch auf der Hornhaut des Auges, fortschreitenden Schwund, Atrophie, Schwund am Gesicht beobachtet. Oft erscheinen die Zähne als Ausgangspunkt des Gesichtsschmerzes, und es gibt wenige Leidende an diesem peinigenden Übel, die infolge desselben nicht Zähne eingebüßt haben.

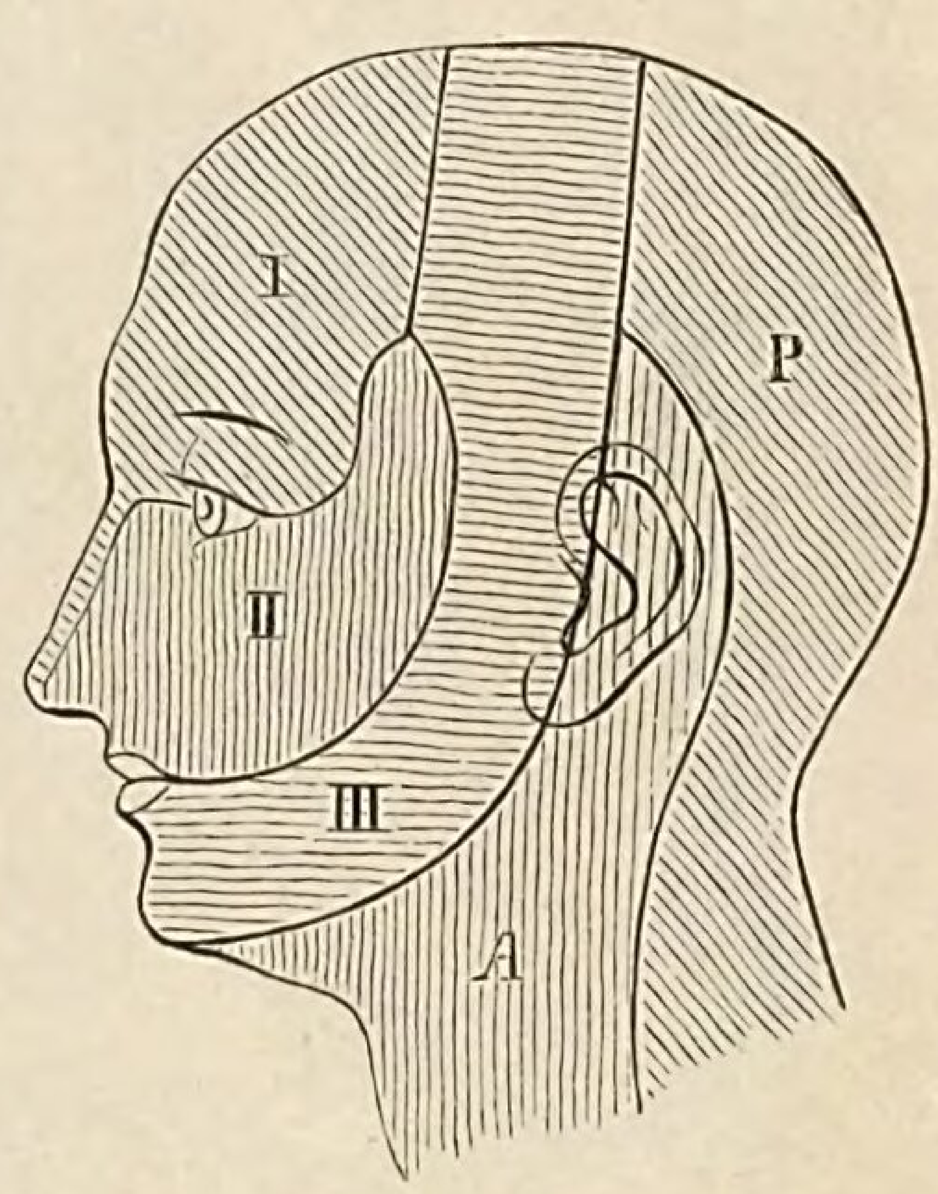
Der innigen Verknüpfung der Entwickelung der normalen Behaarung bei dem Menschen mit den allgemeinen Körperverhältnissen entspricht es, daß bei unvollkommener Entwickelung oder Zerstörung der Generationsorgane bei dem Manne gewöhnlich sich auch jene Behaarung nicht entwickelt, welche erst bei erlangter Geschlechtsreife auftritt.

Vollkommen haarlose Menschen werden auch unter nichteuropäischen Völkern angetroffen (s. Band II). Die Mißbildung ist erblich. Bei haarlos geborenen Tieren fand Bonnet die Oberhaut abnorm dick und erinnert dabei an das von Leydig formulierte Gesetz, daß bei den Tieren die Entwickelung des Haarkleides und die Dicke der Oberhaut zu einander im umgekehrten Verhältnis stehen, und daß beide, Haar und Oberhaut, vikarierend zum Schutze des Körpers eintreten, man denke z. B. an die mit spärlichen Haaren und dicken Oberhaut-Hornpanzern geschützten Dickhäuter, wie das Nashorn, während die Tiere mit dichtem Pelze eine zarte Oberhaut besitzen. Dieser Gegensatz scheint sich sonach auch bei der abnormen Behaarung zu zeigen, wobei zu bemerken ist, daß sich die Zähne, welche, wie gesagt, bei Überbehaarung so oft in der Entwickelung zurückbleiben, an die Oberhautbildungen anschließen.

Geschwänzte Menschen.

Keine der „tierähnlichen" Verbildungen des Menschenleibes hat seit der ältesten Zeit bis in die neuesten Tage herein so viel Popularität besessen wie die außerordentlich selten auftretenden schwanzartigen Anhänge am Rückenende des Menschen.

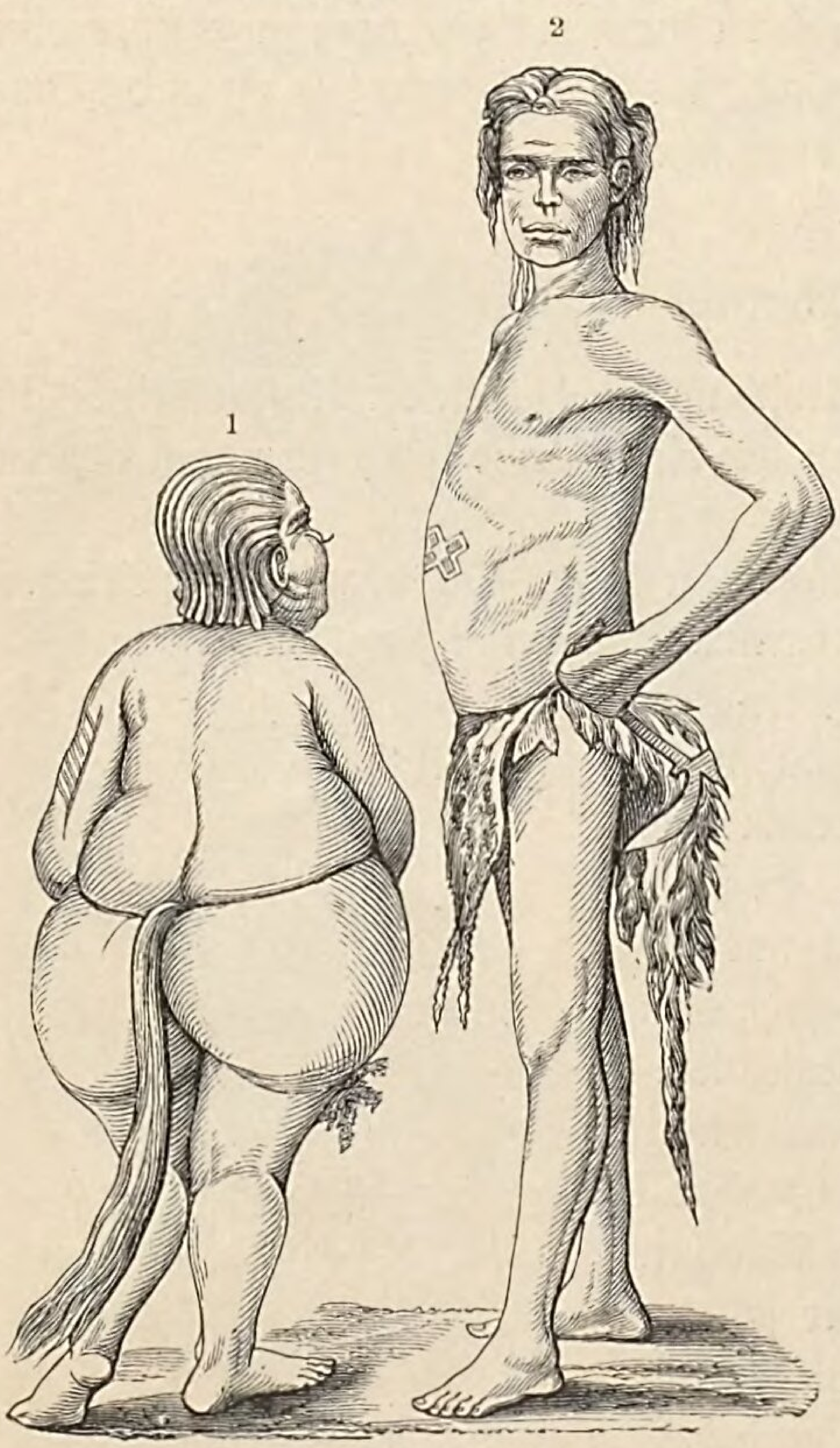
Die Sage aller Völker hat sich dieses Gegenstandes bemächtigt. Die Phantasie der Griechen wurde beim Anblick solcher Erscheinungen zu wunderbaren Deutungen angeregt, und die mythenbildende Überlieferung verarbeitete sie zu den Bildern geschwänzter Satyrn. Anderseits wurden diese gelegentlich beobachteten Mißbildungen, wie viele andere, vom Altertum nicht nur religiös, sondern auch ethnographisch verwertet. Es sollte geschwänzte Völker und Stämme geben, und nicht nur der Zivilisation fernstehende Völker glauben noch heutigestags an diese alten Sagen, sondern auch in unserer neuesten Reiselitteratur tauchen sie mit der größten Hartnäckigkeit immer wieder von neuem auf. Es würde das, wie es scheint, doch unmöglich sein, wenn nicht an den Erzählungen ein Körnchen Wahrheit wäre. Freilich haben sich in unserer Zeit, vor der sich der dunkle und lange verschlossene afrikanische Weltteil wie die fremdartige Inselwelt des Indischen Archipels erschlossen haben, wo man seit alten Tagen geschwänzte Völkerschaften vermutete, die Beobachtungen zu dem unanfechtbaren Beweis gestaltet, daß es nirgends auf der Erde geschwänzte Völker gibt. Das meiste, was man darüber seit alten Zeiten fabelte, hat sich, abgesehen von vollkommen grundlosen Märchen, welche Reisende erfunden hatten oder sich hatten aufbinden lassen, als eine Täuschung herausgestellt, veranlaßt durch gewisse Kostüme, bei denen entweder wirklich ein Tierschwanz als Schmuck der Rückseite getragen wird, oder ein anderes primitives Kleidungsstück, das in seinem Aussehen mehr oder weniger einem Tierschwanz ähnelt. Die bekanntesten Enthüllungen dieser Art über solche „Kostümschwänze" sind jene, welche Schweinfurth über die Njam-Njam im Inneren Afrikas gegeben hat. Die Njam-Njam tragen das Fell der Zibethkatze oder das eines langschwänzigen Affen in der Weise um die Hüften gebunden, daß der lange Schwanz des Felles von der Kreuzbeingegend herabhängt und so von weitem als ein angeborenes Eigentum des Trägers erscheinen kann. An den Quellflüssen des Weißen Nils sah Fr. Morlang, daß die sonst nackt gehenden Weiber aus der Landschaft Yangbara einen Schurz aus dürrem Grase und Fasern tragen, der an der Rückseite, einem Tierschweif



Die Gebiete der Empfindungsnerven in der Kopfhaut.
I, II, III) Gebiet der drei Äste des Trigeminus, A) das der Halsnerven, P) das der Hinterhauptnerven.

ähnlich, manchmal bis gegen die Fersen herabreicht (s. untenstehende Abbildungen). Auf diese Weise erhalten die Nachrichten über Leute mit Roßschweifen oder Kuhschwänzen ihre Erklärung und gleichzeitig ihre Widerlegung. Auch Berichte über gewisse stummelartige Schwänze erweisen sich bei genauer Betrachtung in diese Reihe der Kostümschwänze gehörig.

Doch kommen gelegentlich verschieden gestaltete schwanzartige Anhänge, wie es scheint, bei allen Rassen und Völkern vor, und zwar als Mißbildungen auf Entwickelungsstörungen während des Fruchtlebens beruhend, ganz den angeborenen Mißbildungen analog, welche wir in den vorstehenden Abschnitten eingehender besprochen haben. Am genauesten und häufigsten wurden diese Bildungen bisher an Europäern beobachtet. „Wilde", bei denen die Schwanzbildung häufiger wäre als in Europa, kennt man bisher nicht. Um die Bildung der anormalen „Menschenschwänze" verstehen zu können, müssen wir, wie bei jenen, auf die Entwickelungsgeschichte der menschlichen Frucht zurückgehen. Dabei sehen wir von jenen in extremster Ausbildung oberflächlich an einen Roß- oder Ziegenschwanz erinnernden Fällen einer übermäßigen Behaarung der Kreuzbeingegend ab, welche wir im vorhergehenden Abschnitt in Verbindung mit den anderen Formen der Überbehaarung beschrieben haben (s. S. 174).



„Geschwänzte" Menschen: 1) Ein Bongoweib, 2) Ein Njam-Njamkrieger.

Die eigentlichen schwanzförmigen Gebilde, welche bei dem Menschen an dem Rückenende, ungefähr an der für die Tierschwänze normalen Stelle, gelegentlich beobachtet wurden, hat M. Bartels zum Gegenstand sehr wertvoller Abhandlungen gemacht, und die zum Teil vortrefflich beobachteten Fälle charakterisierten sich, unserer obigen Angabe entsprechend, als wahre Mißbildungen, als anormal entwickelte Überbleibsel aus dem Fruchtleben.

Wir erinnern uns aus der Beschreibung der Gestalt der menschlichen Frucht in den ersten Bildungswochen, daß ihr hinteres Leibesende in eine schwanzartige, konische Spitze ausläuft, welche, solange die Anlagen der Beine noch nicht in höherem Maße entwickelt sind, eine relativ bedeutende Länge besitzt (s. Abbildung, S. 149 und 153). Wie sich die Kopfbildung durch ein Herabbiegen der zuerst flächenhaften Kopfanlage gegen die Brustfläche des Fruchtkörpers weiter ausbildet und formt, so sehen wir auch am hinteren Leibesende dieses konische Endstück sich gegen die Bauchfläche aufbiegen, wodurch der Eindruck von einem wahren Schwanze, etwa dem der Schildkröten ähnlich, noch mehr erhöht wird. Diese Verhältnisse sind bei den höheren Wirbeltierfrüchten den bei der Menschenfrucht beobachteten außerordentlich ähnlich, nur bemerken wir bald, daß das betreffende umgebogene Körperende bei den geschwänzten Tieren, dem späteren längeren Schwanze entsprechend, länger zu sein pflegt, und daß eine größere Anzahl von Urwirbelanlagen in dasselbe eingeht als bei der Körperanlage des Menschen. Auch hier sind die Unterschiede der Menschenform und Tierform nur graduelle. Wir können mit vielen Anatomen das untere, aus meist

vier, seltener fünf verkümmerten Wirbeln bestehende, gegen die übrige Wirbelsäule beweglich bleibende Endstück des letzteren, das Steißbein, als Schwanzbein bezeichnen zur Hervorhebung der unverkennbaren Übereinstimmung, welche zwischen diesem bei dem Erwachsenen normal so vollkommen in die Tiefe gesenkten und dadurch versteckten Körperteil und dem Schwanze geschwänzter Tiere besteht. Aber von Anfang der Bildung des Menschenkörpers an ist die Anlage des knöchernen Endes der Wirbelsäule nicht länger als bei dem Erwachsenen; dagegen sehen wir, wie gesagt, aus den Abbildungen junger Tierfrüchte (Mensch, Fig. 1; Schwein, Fig. 2 auf S. 153), daß bei diesen, dem späteren Schwanze entsprechend, ebenfalls von Anfang an sich eine größere Anzahl von Urwirbeln an der Bildung des schwanzförmigen Anhanges des Leibes beteiligt.

Das gegen die Bauchfläche aufgebogene, konisch oder spitz zugehende Leibesende ist bei den Früchten von Tieren und Menschen aber keineswegs im ganzen als ein wahrer Schwanz, sondern eben nur als ein „schwanzförmiger Anhang“ zu bezeichnen. Ein beträchtlicher Teil desselben fällt bei Tier und Mensch auf das Rumpfende, welches sich später bei der weiteren Ausbildung der Beine zwischen diese hineinzieht und von diesen gedeckt wird. Es ergibt sich das mit aller Bestimmtheit daraus, daß, solange die „Schwanzkrümmung“, d. h. eben die mehrfach erwähnte Aufbiegung des Rumpfendes gegen die Bauchfläche, existiert, die noch nicht getrennte Öffnung für das Hinterende des Darmkanals, der Harn- und Generationsorgane, die sogenannte Kloake, sich bei der Menschenfrucht ganz nahe dem äußersten Ende des schwanzförmigen Anhanges findet, so daß wir also nur das über diese Öffnung hinausragende Stückchen Wirbelsäule als eigentlichen Schwanz bezeichnen können. Bei dem Menschen wird die hintere Leibesöffnung während der höchsten Ausbildung der Schwanzkrümmung des Körpers meist nur von einer Wirbelanlage überragt. Auch bei den geschwänzten Tieren liegt die Öffnung der Kloake innerhalb des schwanzförmigen Leibesanhangs, aber die Zahl der sie überragenden Wirbelanlagen ist eine größere.

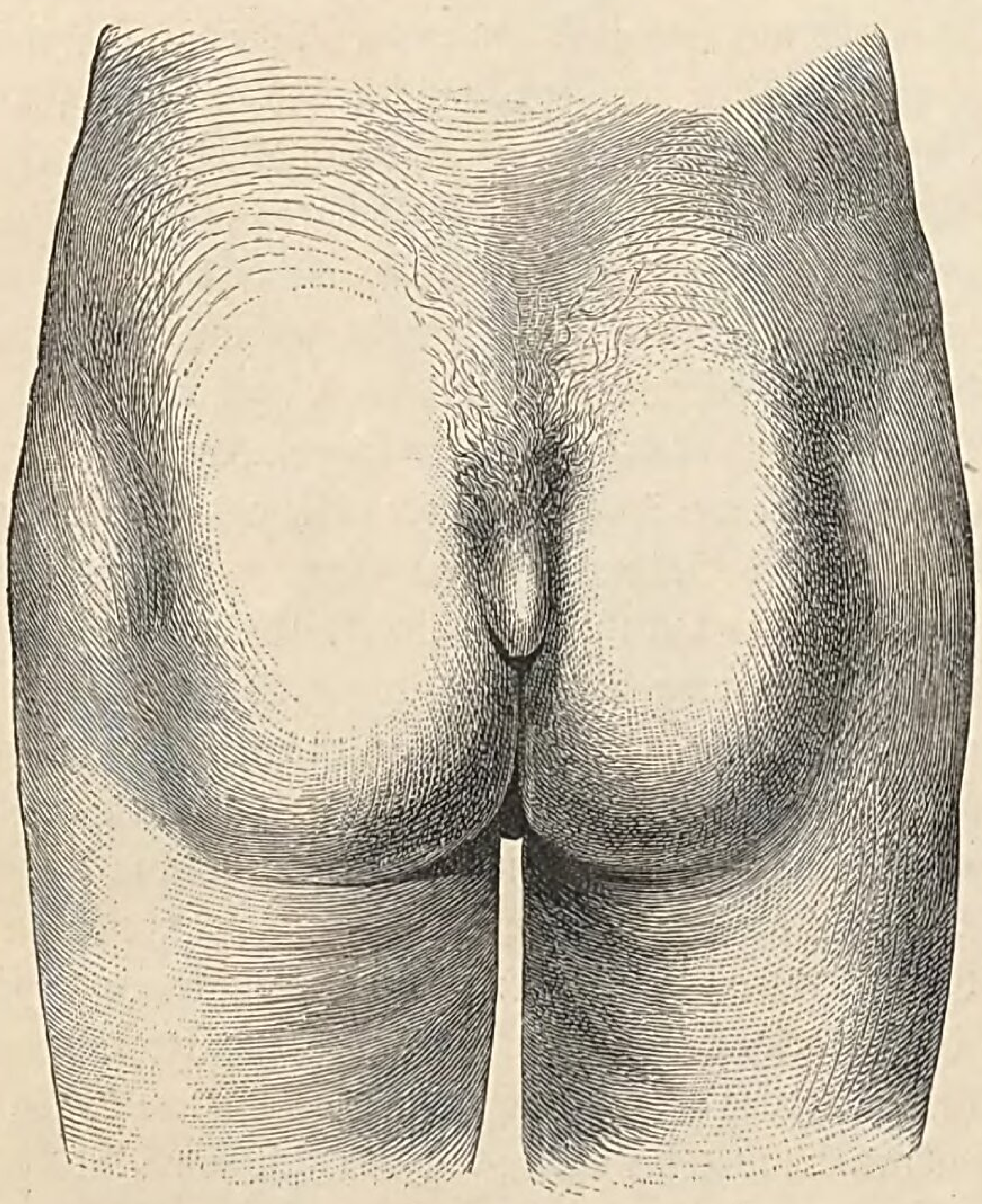
Wir haben oben beschrieben, wie im weiteren Verlauf der Körperentwickelung die Frucht ihr früher gegen die Bauchfläche umgebogenes schwanzförmiges Ende wieder mehr und mehr streckt, so daß schließlich der ganze untere Abschnitt der Wirbelsäule mit dem Schwanzbein eine gerade Linie bildet. Einerseits rückt damit das letztere von der unteren Leibesöffnung weiter weg, anderseits buchtet es mit seiner Spitze die darübergelegene Haut zu dem oben schon erwähnten, mehr oder weniger auffallenden stummelförmigen Höcker, Steißhöcker (s. Abbildung, S. 149), der an einen kurzen Stummelschwanz mahnen könnte, hervor. In dieser Zeit entwickelt sich infolge der Dehnung und Ausbuchtung der Haut von innen her jener Haarwirbel, welcher bei den ungeborenen Früchten und dem Neugeborenen das zierliche, von Ecker näher beschriebene und als eine normale Bildung erkannte Haarschwänzchen bildet, das sich im späteren Leben zur Überbehaarung der Kreuzbeingegend in so auffälliger Weise entwickeln kann. Anfänglich liegt das Haarschwänzchen über der Spitze des Rückgratendes, wie bei den Tieren, bei denen es in der Folge als Quaste das Schwanzende zu zieren bestimmt ist. Bei dem Menschen entfernt sich aber dadurch, daß das Schwanzbein sich wieder zu seiner bei dem Erwachsenen normalen Stellung nach einwärts krümmt, die Spitze des Rückgratendes ziemlich weit von der den Haarwirbel tragenden Hautstelle, und diese erscheint dann gleichsam gegen das Kreuzbein hinaufgeschoben.

Mit der Ausbildung des Steißhöckerchens ist der eigentliche schwanzförmige Anhang der Menschenfrucht verschwunden. Das Höckerchen selbst hat eine symmetrische dreiseitige Gestalt. Es beginnt mit breiter Basis am Rücken in der Kreuzbeingegend und läuft in eine Spitze aus, welche hart am hinteren Rande der Endöffnung des Verdauungsschlauches ihr Ende erreicht. Zwei flache, gegen die Spitze des Höckerchens verlaufende Hautfurchen begrenzen dasselbe seitlich.

Eine Anzahl von schwanzartigen Bildungen bei dem Menschen, welche sich von den später zu besprechenden dadurch unterscheiden, daß sie das normale knöcherne Wirbelsäulenende einschließen,

sind angeborene Hemmungsbildungen, hervorgegangen aus krankhaftem Stehenbleiben auf der letztbeschriebenen Entwickelungsstufe des Steißhöckers. Dabei kann es sich ergeben, daß die Streckung des Rückgratendes etwas über das normale Maß hinausgeht, wodurch der Anschein eines wahren kurzen Stummelschwanzes noch gesteigert wird.

Eine etwas höhere Ausbildung derselben Mißform zeigte ein im Jahre 1879 vortrefflich beobachteter Fall an einem griechischen Rekruten, von dem Ornstein berichtet, daß es sich um einen anscheinend senkrecht vom Kreuzbein herabsteigenden rundlichen Fortsatz des unteren spitzen Teiles dieses Knochens, also des bei dem Erwachsenen normal nach innen gekrümmten und dadurch an der äußeren Körperoberfläche nicht sichtbaren menschlichen Schwanzbeines handle; der „Fortsatz“ zeigte sich übrigens doch ein wenig gegen das Becken konkav gekrümmt. Die Form des stummelschwanzähnlichen Fortsatzes war die eines kurzen Dreieckes mit nach unten gewendeter, etwa mannsdaumendicker Spitze (s. nebenstehende Abbildung). Der Ausgangspunkt dieser nach oben unter der Haut verlaufenden Mißbildung schien nach Ornstein die Verbindungsstelle des ersten Schwanzbeinwirbels mit dem zweiten zu sein. Normal besitzt der Mensch, wie wir oben angaben, vier, seltener fünf verkümmerte Wirbel im Schwanzbein. Ornstein konnte außer dem zweiten, welcher dem Volumen nach einer etwas großen, platt gedrückten Erbse gleichkam, nur noch einen dritten, linsengroßen Schwanzbeinwirbel unterscheiden, der bei normalen Schwanzbeinen vorhandene vierte Wirbel fehlte. Die ganze Länge des freien, schwanzartigen Anhanges betrug 2,3 cm, unter der Haut konnte man die abnorme Stellung des Schwanzbeines noch etwa auf die gleiche Strecke hin verfolgen. Die abnorme Hervorragung war mit einer dicken, haarlosen Haut bedeckt, die, wie die unterliegenden Knochengebilde, abgesehen von dem Fehlen des einen normalen Schwanzbeinwirbels, nichts Regelwidriges zeigte. Die freie Spitze erschien ungeachtet ihrer derben, ungegliederten Struktur etwas beweglich, und bei einer schwachen schnellenden Bewegung nach vorn runzelte sich gleichzeitig die Haut in der Breite eines Strohhalmes über dem linken Rande des unter der Haut befindlichen Abschnittes des regelwidrig stehenden Rückgratendes. Die Kreuzbeingegend war etwas, aber sehr schwach behaart.



Stummelschwanzähnlicher Kreuzbeinfortsatz (nach Ornstein).

Bei dem Menschen ist eine Vermehrung seiner Schwanzbeinwirbelrudimente über die typische Anzahl 4—5 oder nach Keibel 3—6 noch niemals sicher beobachtet worden und zwar, wie speziell hervorgehoben werden muß, auch niemals während des Fruchtlebens. Besonders haben Ecker und His diesem Verhältnis die genaueste Beobachtung gewidmet. Die knöcherne Anlage des Wirbelsäulenendes, welche bei der Frucht des Menschen den schwanzförmigen Anhang bildet, fällt sonach keiner Rückbildung anheim. Übrigens wäre das gelegentliche Vorkommen einer Wirbelvermehrung am Schwanzbein des Menschen als „Mißbildung“ keineswegs unmöglich, als

überzählige Wirbel, deren Vorkommen an verschiedenen Stellen der Wirbelsäule wir oben unter den Mißbildungen schon erwähnt haben. Wir bemerken noch, daß bei den geschwänzten Säugetieren sich der Wirbelcharakter der einzelnen Schwanzbeinwirbel nicht ändert; sie bewahren die Haupteigentümlichkeiten wahrer Wirbel. Bei dem Menschen zeigt dagegen nur das oberste dieser im allgemeinen sehr verkümmerten Wirbelgebilde des Schwanzbeines noch einige Formähnlichkeit mit einem wahren Wirbel; die Ringform ist bei allen ganz eingegangen und nur ein an den sogenannten Körper der Wirbel erinnerndes Knochenstückchen übriggeblieben.

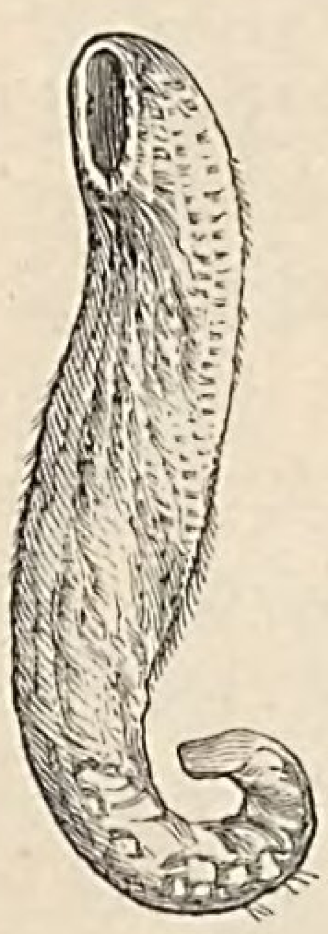
Die eben beschriebene Art von schwanzartigen Mißbildungen bei dem Menschen ist in Europa, abgesehen von dem Falle Ornsteins, bisher nur noch in zwei diesem sehr ähnlichen Fällen beobachtet worden. Diese Verunstaltung erscheint daher als eine außerordentlich seltene.

Kaum weniger selten ist eine andere Art von schwanzförmigen Anhängen der Kreuzbeingegend bei dem Menschen, welche eine beträchtlichere Länge erreichen können, sich von den vorher besprochenen und den Säugetierschwänzen aber dadurch unterscheiden, daß sie keinen knöchernen oder knorpeligen Inhalt besitzen, sondern nur aus Weichgebilden zusammengesetzt sind. Sie sind manchmal behaart und zeigen oft eine leichte Krümmung, welche sie für oberflächliche Betrachtung einem „Schweineschwanz" ähnlich erscheinen läßt.

Auch diese sonderbaren Körperanhänge, welche, wenn sie allein auftreten, meist leicht und ohne Schaden chirurgisch entfernt werden können, sind als „Überbleibselbildungen", entsprechend vielen anderen Mißbildungen, zu bezeichnen; auch sie sind Überbleibsel aus einem während des Fruchtlebens des Menschen normalen Bildungsstadium. Diese „weichen Schwänze", wie sie Virchow genannt hat, sind aber in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle, in denen sie beobachtet worden sind, mit oft sehr schweren anderen Mißbildungen der Körpers, gewöhnlich mit angeborenem Verschluß der hinteren Leibesöffnung, mit Bauch- und Blasenspalten oder auch mit Bildungsstörungen am Kopfe, den Extremitäten 2c., verbunden gewesen. Die Entwickelungsstörung am unteren Leibesende, welche zur Schwanzbildung führt, verbindet sich also gewöhnlich mit anderen Hemmungsbildungen in derselben Körpergegend.

Der „weiche Schwanz" entsteht nach den Untersuchungen von Ecker und His als eine Hemmungsbildung aus dem Schwanzende der Rückensaite, der Chorda dorsalis, welche mit einer Fortsetzung des Rückenmarksrohres als „Schwanzfaden" in einer gewissen Periode des Fruchtlebens bei Säugetieren und Menschen den wirbelhaltigen Teil des Leibesendes mehr oder weniger lang zu überragen pflegt; ob regelmäßig, ist noch ungewiß (s. S. 149). Bei sehr jungen menschlichen Früchten, bei denen die Umbiegung des unteren, sich verschmälernden Leibesendes noch eine sehr bedeutende ist, erscheint dessen als eigentliches Schwanzende zu bezeichnendes Stück, welches die noch gemeinschaftliche untere Leibesöffnung überragt, sehr kurz und ziemlich rundlich gestaltet und enthält, wie gesagt, eine oder höchstens zwei Wirbelanlagen. Von einem Zeitpunkt an, in welchem die Menschenfrucht etwa eine Länge von 8 mm erreicht hat, streckt sich der bis dahin eingekrümmte Körper mehr und mehr; der Kopf hebt sich etwas, aber der Beckenteil senkt sich so tief, daß, wie angegeben, schließlich das Schwanzbein vollkommen gestreckt wird. Dadurch werden nach der Angabe von His die auf der Rückenfläche der Wirbelanlagen liegenden Weichgebilde, Chorda und Rückenmarksrohr, welche bis dahin die Krümmung der Wirbelsäulenanlage mitgemacht haben und daher, weil sie auf der äußeren Seite des von dieser gebildeten Bogens lagen, länger sind als diese, nach abwärts und über das Wirbelsäulenende vorgeschoben. In diesem Entwickelungsstadium erscheinen also, wie sich M. Braun ausdrückt, bei dem Menschen wie bei Schweinen, Katzen, Schafen, Kaninchen, Mäusen, Hunden, kurz bei allen Säugetieren, welche er untersuchen konnte, die Chorda und das Rückenmarksrohr „zu lang

angelegt“. Es besteht also in diesem Entwickelungsstadium auch bei dem Menschen der Schwanzteil, der sich als ein freier, zugespitzter Vorsprung nach oben und vorn wendet und häufig unter dem Einfluß des anstoßenden Nabelstranges umgebogen ist, aus einem wirbelhaltigen und einem wirbelfreien Stücke, aus dem kurzen Wirbelteil des Schwanzes und dem namentlich von der Chorda gebildeten Schwanzfaden. Im normalen Verlauf wandelt sich das den Wirbelteil des Schwanzendes überragende Stückchen der Chorda nach der Angabe Eckers zuerst zu einem kleinen Knötchen um und entzieht sich endlich mit den übrigen Bestandteilen des Schwanzfadens der Beobachtung. Dieser Schwanzfaden ist es, welcher durch krankhaftes Bestehenbleiben und teilweise Umbildung seiner Gewebe einen sogenannten „weichen Schwanz“ bilden kann (s. untenstehende Abbildung). Wir haben in letzterem sonach eine Art von Hemmungsbildung, verbunden mit krankhafter Wachstumssteigerung, zu erkennen, zu der gleichen Gruppe gehörend wie die Hasenscharten, die ungetrennten Finger und viele andere angeborene Mißbildungen.


Weicher Schwanz.

Solche Weichschwänze sind, wie gesagt, außerordentlich selten, doch konnte ein sehr exquisiter Fall eines „weichen Schwanzes“ von Virchow auf das eingehendste untersucht und nach dem vom Körper getrennten Präparat beschrieben werden.

Der „weiche Schwanz“ fand sich bei einem im Jahre 1848 bei Tettens im Großherzogtum Oldenburg geborenen Knaben[1]. Das schwanzartige Gebilde ist schwach behaart, und die Bezeichnung „Schweineschwanz“ gibt sein äußeres Ansehen sehr vollständig wieder. Es macht eine schwach S-förmige Biegung und ist am Ende halb aufgewickelt wie ein Rollschwanz. In seinem jetzigen Zustand ist es 5 cm lang, am dickeren oberen Ende 1 cm dick. So verläuft es, übrigens drehrund, bis zur Mitte, wo eine leichte, spindelförmige Anschwellung liegt; dann verjüngt es sich allmählich und läuft in eine ganz feine Spitze aus. Äußerlich erscheint es voll und prall, nur durch die Einwirkung des Spiritus (es liegt nun über 30 Jahre in demselben) etwas gerunzelt. Die Haut ist ungefärbt und mit farblosen, 2 mm langen Härchen besetzt. Unter der Haut folgt das Unterhautfettgewebe, dem sich eine Art Sehnenhaut, Fascie, anschließt. Unter dieser liegt als Zentrum des Ganzen wieder eine Fettschicht, welche mit großen, reichverästelten arteriellen Blutgefäßen durchsetzt ist. Kein einziger Wirbel ist in dem Gebilde enthalten, das Mikroskop zeigte an keiner Stelle Muskeln, ebensowenig Knorpel oder Chordagewebe. Virchow sagt: „Daß es sich hier um eins der ausgeprägtesten Beispiele von persistentem Kaudalanhange (als Mißbildung fortbestehendem schwanzförmigen Anhang aus der Zeit des Fruchtlebens) handelt, liegt klar zu Tage. Ob die Chorda (die Rückensaite) verschwunden ist, oder ob sie sich in Fettgewebe verwandelt hat, steht dahin. Jedenfalls war keine Spur eines spinalen (dem Rückgrat spezifisch zugehörigen) Gebildes mehr vorhanden. Als einen tierischen Schwanz im strengeren Sinne des Wortes können wir den Anhang also nicht betrachten.“ Die Schwanzspitze war unbehaart[2].

Unsere Vorfahren pflegten, sagt Bartels, die Untersuchung über einen abnormen Zustand nicht für erledigt zu betrachten, wenn sie nicht auch die Frage noch erörtert hatten: Was bietet

[1] Der Anhang war 7,5 cm lang und soll bei Berührung mit einer Nadelspitze etwas Bewegung gezeigt haben. Acht Wochen nach der Geburt entfernte Dr. Averdam denselben, und Greve berichtete darüber an Virchow, der das in Spiritus wohlaufbewahrte Präparat zur anatomischen Untersuchung erhielt.

[2] Es kommen hier und da an ganz verschiedenen Stellen der Körperoberfläche weiche, schwanzähnliche, verschieden zusammengesetzte Hautanhänge vor. Nach O. Schäffer u. a. handelt es sich hierbei um Auszerrungserscheinungen der Haut durch den Zug des während des Uterinlebens krankhaft an die Frucht angewachsenen Amnion. Dann kann aber auch das Schwanzbein nach außen durch diesen Zug oder Druck dislociert werden, es können die Wirbel durch Druck gespalten und dadurch scheinbar vermehrt werden, ja das Schwanzbein kann vom Kreuzbein ganz abgespalten und nach außen gezerrt werden, wodurch ebenfalls schwanzartige Bildungen entstehen.

der fragliche Zustand für Nachteile? In unserem Falle ist in erster Linie der deprimierende moralische Eindruck zu erwähnen, den der Besitz eines tierischen Emblemes auf den Patienten oder seine Eltern macht. Fast immer sind die Ärzte, welche diese Mißbildung beschreiben, sehr vorsichtig in der Bezeichnung der betreffenden Leute, augenscheinlich, um für den zeitgenössischen Leser das Erkennen der betreffenden Persönlichkeit zu verhindern. Höchst drastisch schildert Lochner, wie die Eltern eines „geschwänzten" Kindes erst zögernd und dann, nachdem er feierlich tiefstes Stillschweigen gelobt hatte, ihm das Leiden nannten und die Besichtigung und Untersuchung gestatteten. Auch aus dem Bericht von Hesse leuchtet das Entsetzen vor dieser Abnormität heraus, wenn er in seiner „Ostindischen Reisebeschreibung" sagt: „Unter anderen unserer Sklaven bei dem Bergwerk hatten wir auch eine Sklavin, welche gleich einer schändlichen Bestie mit einem kurzen Stiele oder Ziegenschwanz ausgeschändet war." Im 14. Jahrhundert hielt man nach dem Zeugnis des Abtes Trithanius den Schwanz für ein Anzeichen der beginnenden Metamorphose in einen Werwolf. Allerdings sind auch in diesem Punkte die Anschauungen verschiedener Völker nicht immer gleich. So berichtet Oken, daß nach der Erzählung der Oberstin Elwood die regierende Familie der Stadt Purbunder vom Stamme der Dschaidwar behaupte, vom Affen Hanumann (Semnopithecus entellus) abzustammen, dem Helden der indischen Mythe; sie unterscheiden sich noch jetzt durch den Titel: „geschwänzte Rana", weil einer ihrer Vorfahren eine Verlängerung des Rückgrates gehabt haben soll. Hier wird der Schwanz also sogar für etwas Ehrenvolles gehalten.

Indem wir damit die Betrachtung der natürlichen menschlichen Mißbildungen an dieser Stelle abbrechen, um sie namentlich mit Rücksicht auf die Kopf- und Gehirnbildung erst in der späteren Folge wieder aufzunehmen, haben wir noch besonders hervorzuheben, daß selbstverständlich fast ausnahmslos alle Mißbildungen gröbere oder geringere Störungen der Lebensthätigkeiten der betroffenen Organe oder der allgemeinen Lebensfähigkeit selbst bedingen. Die Mißbildungen haben wir als angeborene Krankheiten, die davon Betroffenen als Leidende zu betrachten.

Wir haben mehrfach auf die Erblichkeit der angeborenen Mißbildungen hingewiesen. Bei Mißbildungen, welche das Leben nicht gefährden, wäre es daher wohl denkbar, daß solche in geschlossenen, nur untereinander heiratenden Familien oder Stämmen, vielleicht auch bei ganzen Inselbevölkerungen in gesteigerter Anzahl auftreten könnten. Doch sind bei dem Menschen solche Fälle bisher noch kaum beobachtet. Man berichtet von einem gewissen südarabischen Fürstengeschlecht, daß der Thronerbe sechsfingerig sein müsse. Bei Tieren gelingt es dagegen verhältnismäßig leicht, Mißbildungen künstlich fortzuzüchten. So hat E. Zeller Generationen von Axolotln gezogen, welche erblich in großer Anzahl mit Blindheit und Verkümmerung der Augen belastet sind; das Gleiche beweist das mißbildlich verdoppelte Körperende der Teleskopgoldfische. Das Verhältnis ist ähnlich jenem der vielbekannten Erblichkeit gewisser eigentlicher Krankheitsanlagen (z. B. Bluterkrankheit), wodurch solche in die folgenden Generationen übertragen werden können.

Schädelplastik.

An die Betrachtung der natürlichen „tierartigen" Mißbildungen reihen wir hier die einiger künstlich hervorgebrachten an. Unter diesen erregen namentlich die künstlichen Umbildungen der Kopfform unser Interesse. (Näheres s. in Band II.)

Die Naturvölker kennen die mannigfachen Eigenschaften, in welchen die Tiere den Menschen trotz seiner geistigen Überlegenheit überragen, vollkommen, und wir können uns nicht wundern, wenn sie, wie es einst ja auch unsere Helden gethan, als Ehrennamen die Namen von Tieren annehmen. Ganze Völkerstämme legen sich den Namen eines Tieres als Volksnamen bei, und mehrfach finden wir mit dieser Sitte die andere verbunden, sich auch äußerlich durch Waffen- und

Körperzierde dem gewählten tierischen Vorbild möglichst zu nähern. Es unterliegt wohl keinem ernsthaften Zweifel, daß die erste Veranlassung auch jener seltsamen künstlichen Körperumformungen, wie wir sie z. B. bei den Fuchskopfindianern und ihren Nachbarstämmen bemerken, welche den Kopf schon in zartester Jugend möglichst in die Gestalt des Kopfes ihres Wappentieres umzumodeln bestrebt sind, in dem Wunsche begründet war, diesem bevorzugten Wesen auch äußerlich ähnlich zu werden. Aus Amerika, Asien und Europa wird uns die Sitte gemeldet, die Kopfform der Kinder aus der freien Bevölkerung in eine dem herrschenden Geschmack mehr entsprechende, zum Teil tierisch aussehende umzugestalten, so daß die künstliche Kopfmodellierung zu den verbreitetsten Verschönerungsmitteln des Menschengeschlechts zählt.

In Amerika ist diese Sitte unter vielen Völkern zweifellos uralt, namentlich für Peru und Mexiko liegen uns dafür in Denkmälern und Gräbern eines lange verschwundenen Geschlechtes die vollgültigsten Beweise vor, und eine Anzahl von eingeborenen Völkerschaften Amerikas huldigt noch immer demselben barbarischen Gebrauch. Auch aus der Alten Welt war schon dem klassischen Altertum diese Unsitte bekannt, welche sich in ihren Resten bis auf unsere Tage in einigen Gegenden Europas erhalten hat. Hippokrates und Plinius erzählen von Völkerschaften, bei welchen es Sitte sei, die Köpfe der Kinder von Adligen und Freigeborenen mechanisch umzugestalten; Hippokrates gebraucht für diese durch größere Länge sich auszeichnenden veränderten Schädel und ihre Träger den Ausdruck: Großköpfe, Makrokephalen, eine Bezeichnung, welche für eine bestimmte Art dieser umgemodelten Schädel heute nach Rathke wieder von der Wissenschaft gebraucht wird. Plinius, der berühmte Verfasser der großen Naturgeschichte, erwähnt diese Leute mit den künstlich verdehnten Köpfen ebenfalls; sie sollten an den Küsten des Schwarzen Meeres und speziell um die alte Stadt Cerasus, das heutige Trapezunt, ihre Wohnsitze haben. Die Angaben der antiken Ärzte wurden durch die von K. E. v. Baer gemachten Funde solcher künstlich umgestalteter makrokephaler Schädel in alten Grabstätten der Halbinsel Krim, der Taurischen Halbinsel, bei der alten Stadt Kertsch bestätigt, welch letzteres der zur Zeit von Christi Geburt lebende griechische Geograph Strabon als Pantikapäon erwähnt.

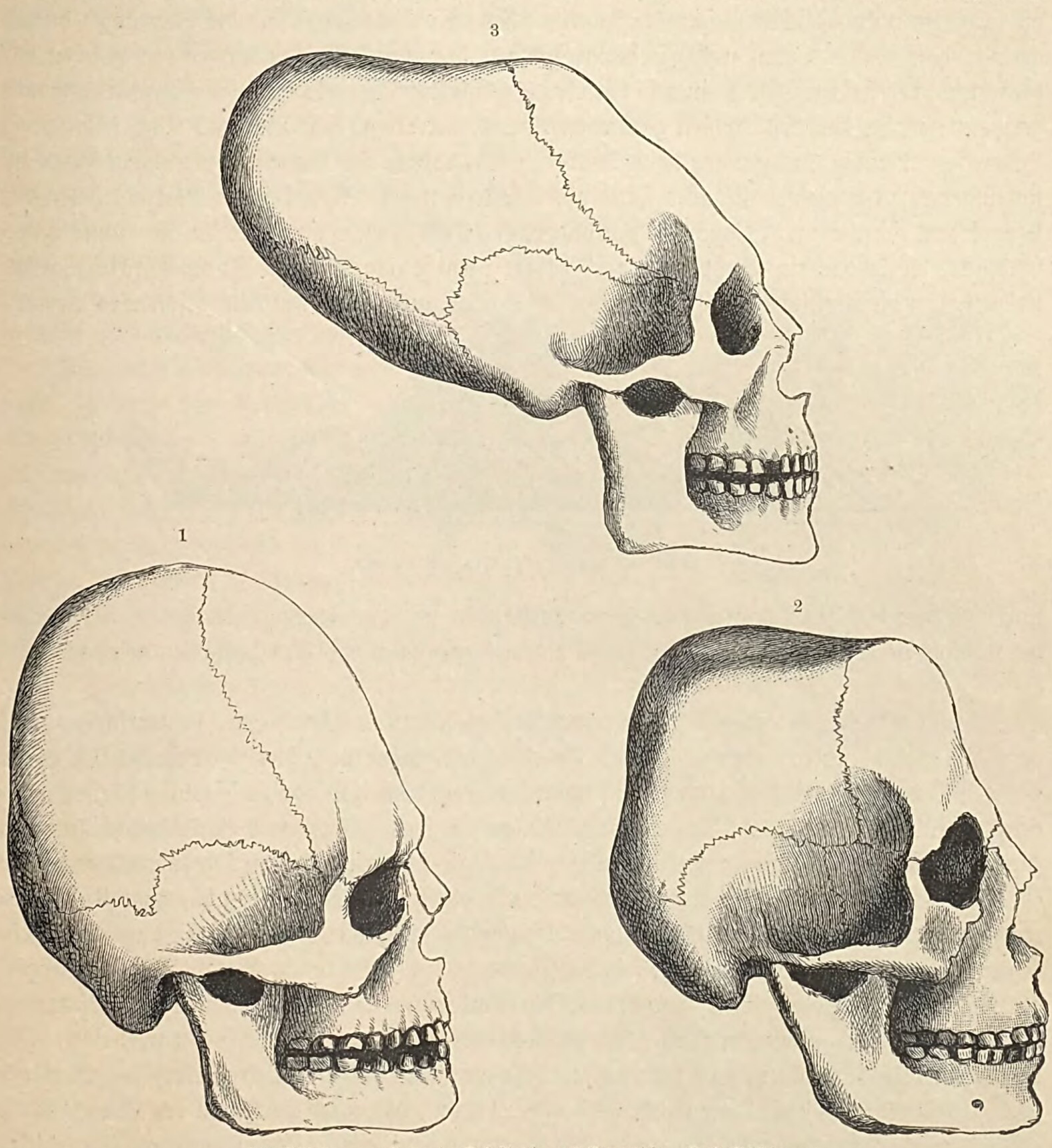
Seit diesen Entdeckungen an der Küste des Schwarzen Meeres sind auch in uns näher gelegenen Gegenden, am zahlreichsten in Ungarn, aber auch durch Süddeutschland bis zum Rheinufer, ja in einem vereinzelten Falle sogar in England, aus alten, wie es scheint, der Völkerwanderungsperiode angehörigen Grabstätten solche makrokephale Schädel entnommen worden, welche jenen aus der Krim in auffallender Weise gleichen. Die betreffende Sitte scheint sonach von der Ostgrenze Europas durch einzelne vielleicht als Krieger oder Kriegsgefangene ins Land gekommene Individuen bis zu uns gelangt zu sein. Auch bei den Grusiern am südlichen Abhang des Kaukasus war die alte Sitte in Übung geblieben. Unter den Germanen hat sie wohl niemals geherrscht.

Weit zahlreicher wurden die künstlich umgeformten Schädel aus Amerika bekannt. Die Formen, teilweise ganz an die der Makrokephalen erinnernd, sind so auffallend, daß ein vortrefflicher Forscher, der solche Schädel in alten Gräbern in den Höhlen der Kalkgebirge von Minas Geraes auffand, sie zunächst für die Reste einer untergegangenen Menschenrasse halten konnte, welche sich durch ihre ganz besondere Kopfbildung von allen übrigen Menschen unterschieden hätte. Die Sitte der Kopfumformung herrschte einst und herrscht zum Teil noch jetzt bei den Nachkommen der Eingeborenen an den Ufern des Amazonenstromes, an der Ost- und Westküste Südamerikas, in Peru und Mexiko und auch in einigen Gegenden Nordamerikas.

Bei den alten Peruanern unterscheidet Morton[1] vier verschiedene durch künstliche Einwirkung zu stande gebrachte Kopfformen. Man findet Köpfe, welche cylindrisch schief nach hinten und oben

[1] Die Nomenklatur und neuen Untersuchungen Virchows s. Bd. II.

in die Länge gezogen sind (Fig. 1, unten); andere sind zuckerhutförmig in die Höhe gestreckt, wieder andere sind von oben und vorn her niedergedrückt, so daß sie auffallend lang und breit mit abgeplatteter Stirn und flachem Scheitel erscheinen (Fig. 3). Diese Formen sind es, welche an die Makrokephalen erinnern. Bei einer vierten Kopfform ist die Stirn steil in die Höhe gedrückt und eine sattelförmige Rinne auf dem Scheitel und am Hinterhaupt künstlich erzeugt (Fig. 2).

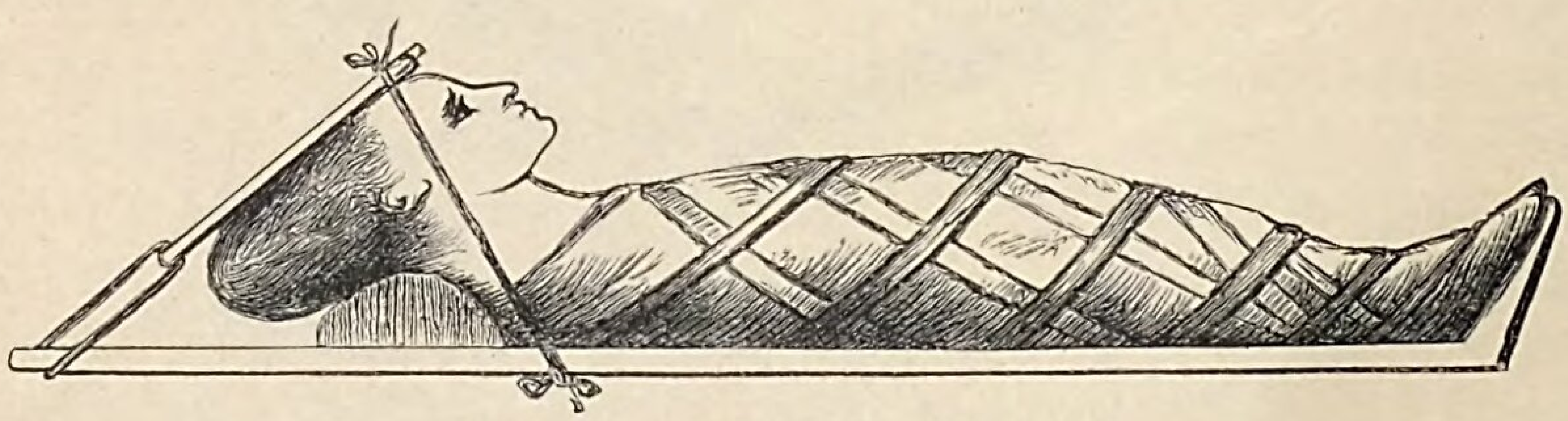


Künstlich umgeformte Schädel aus Amerika. Nach Rüdinger.

Am Ende des 16. Jahrhunderts eifert der Bischof in Lima gegen diese unvernünftigen Umgestaltungen. Die nach den Provinzen des Landes verschiedenen Kopfformen wurden von den eingeborenen Peruanern als Cailo, Oma und Opalla bezeichnet.

Die absichtliche Kopfplastik (es gibt nach Virchow auch eine unbeabsichtigte) wird in der frühesten Kindheit bald nach der Geburt begonnen, zu einer Zeit, in welcher der noch weiche Schädel, dessen biegsame und elastische Knochen durch häutige Zwischenlagen (Nähte und Fontanelle) miteinander verbunden sind, umformende Eingriffe selbst grober Art noch ziemlich gefahrlos

gestattet. Als Hilfsmittel der Umformung dienen namentlich Brettchen, Kompressen, Zirkelbinden und Tücher. Je nach der gewünschten Kopfform kommt das Kinderköpfchen längere Zeit in eine der verschiedenen Druckmaschinen, welche meist aus Brettchen in Verbindung mit Binden bestehen (s. untenstehende Abbildung). Die runde Zuckerhutform des Kopfes wird durch das Anlegen von Zirkelbinden allein angestrebt. Es ist klar, daß sich die Kinder während dieser Präparation oft in einem unbehaglichen Zustand befinden müssen; aber immerhin sind die Störungen doch so gering, daß sie das Leben nicht zu beeinträchtigen brauchen. Beschreibungen, in welchen das Gesichtchen des kleinen Opfers eines so barocken Schönheitstriebes als bläulich gedunsen, mit stark geröteten, etwas aus den Höhlen getretenen Augen, der Kopf heiß und das Kind selbst unter Schmerzen unruhig und jammernd geschildert wird, mögen im Einzelfall manchmal zutreffen, im allgemeinen erscheinen sie aber sicher als Übertreibungen. Wie bei den Makrokephalen des Hippokrates, so war und ist auch bei den anderen Völkern, welche der Sitte der Kopfumformung huldigen, die letztere ein Vorrecht der Freien und Adligen, und Torquemada hat behauptet, daß die künstliche Kopfform, welche die Könige auszeichnete, als ein besonderes Vorrecht



Kind in der Kopfpresse. (Alt-Peru.)

nur noch dem höchsten Adelsrang in Peru zugestanden sei. In neuester Zeit hat A. B. Meyer die Kopfplastik bei verschiedenen Völkern zu einem Geaenstand von Spezialstudien gemacht.

Wenn wir von derartigen Sitten ferner Völkerschaften erzählen hören, so überschleicht uns gern ein Gefühl unserer eigenen höheren Unfehlbarkeit. Aber auch hier unterscheidet sich wie in anderen Dingen unsere Zivilisation nur graduell von der niedrigen oder, wie es uns scheint, mangelnden Kultur. Wie die bei „Wilden" gebräuchlichen Lippen-, Nasen- und Backendurchbohrungen zum Einstecken von Schmuckgegenständen ihre Analogie finden in unseren Ohrendurchbohrungen ebenfalls zum Einhängen oft des wertlosesten, nur glitzernden Schmuckes, wie die tollen Haartrachten der afrikanischen und Südseevölker womöglich noch übertroffen werden durch die künstlichen Toupets unserer Modedamen, wie die Hautmalerei als Schminke überall, ja viel häufiger, als man bisher geglaubt hatte, sogar das Tättowieren, z. B. bei Soldaten und Matrosen, unter uns fortlebt, so wird auch eine künstliche Umformung des Kopfes von den zivilisiertesten Völkern Europas bald mehr, bald weniger absichtlich noch vielfach ins Werk gesetzt. Es bezieht sich diese Bemerkung nicht allein darauf, daß man die Ohren der Kleinen durch festgeschlossene Häubchen möglichst an den Kopf anzupressen bestrebt ist, wodurch die Ohrmuschel ihre normale Fähigkeit, als Hörrohr zur besseren Auffassung des Schalles zu wirken, zum Teil einbüßt. Es wird durch Häubchen und Kopfbinden auch die Kopfform der Neugeborenen selbst umgeformt. Unter den Schädeln unserer modernen deutschen Bevölkerung sind solche keineswegs selten, welche bei sonst normalem Verhalten über den Scheitel herüber (hinter der Kranznaht des Kopfes) eine mehr oder weniger tiefe rinnenförmige Einsenkung zeigen. Diese Eintiefung ist oft zweifellos künstlich in der ersten Jugendzeit durch das straff unter dem Kinne gebundene Häubchen hervorgebracht, dessen Zugband meist am ganzen Vorderrand des Mützchens in Zuglöchern hinläuft. In einigen Landschaften Frankreichs, namentlich im Norden und Nordwesten des Landes,

scheint sich diese Kopfumformung noch viel häufiger als bei uns zu finden. Wir verdanken namentlich Foville und Gosse darüber sehr beherzigenswerte Mitteilungen. Nach ersterem herrscht die Unsitte namentlich in der Normandie, aber auch in Toulouse, Limousin, in der Bretagne und Gascogne; auch in Paris, wo sich die Bevölkerung aus allen Landesteilen rekrutiert, sind umgeformte Köpfe nichts Seltenes. Außer jenem schon erwähnten Kindermützchen mit Zugband, welches in Frankreich oft um die hintere Rundung des Hauptes befestigt wird, wie dort auch die jugendlichen Arbeiterinnen das kleidsame weiße Mützchen hinten gebunden zu tragen pflegen, umgibt man öfters den Kopf mit einer Binde, die von der Scheitelhöhe unter dem Kinne oder von der Stirnhöhe unter dem Hinterhaupt befestigt wird. In Toulouse und Umgegend wird ein rundes, durch eine Binde festgehaltenes Mützchen getragen. Der Erfolg dieser Druckvorrichtungen ist je nach ihren Angriffspunkten verschieden, stets aber bringen sie jene rinnenförmigen Eintiefungen auf der Höhe des Kopfes hervor und geben dem letzteren eine entweder hohe oder lange cylinderförmige Gestalt, Veränderungen, welche nebenstehende Abbildungen andeuten.



Wirkung von Kopfbinden.

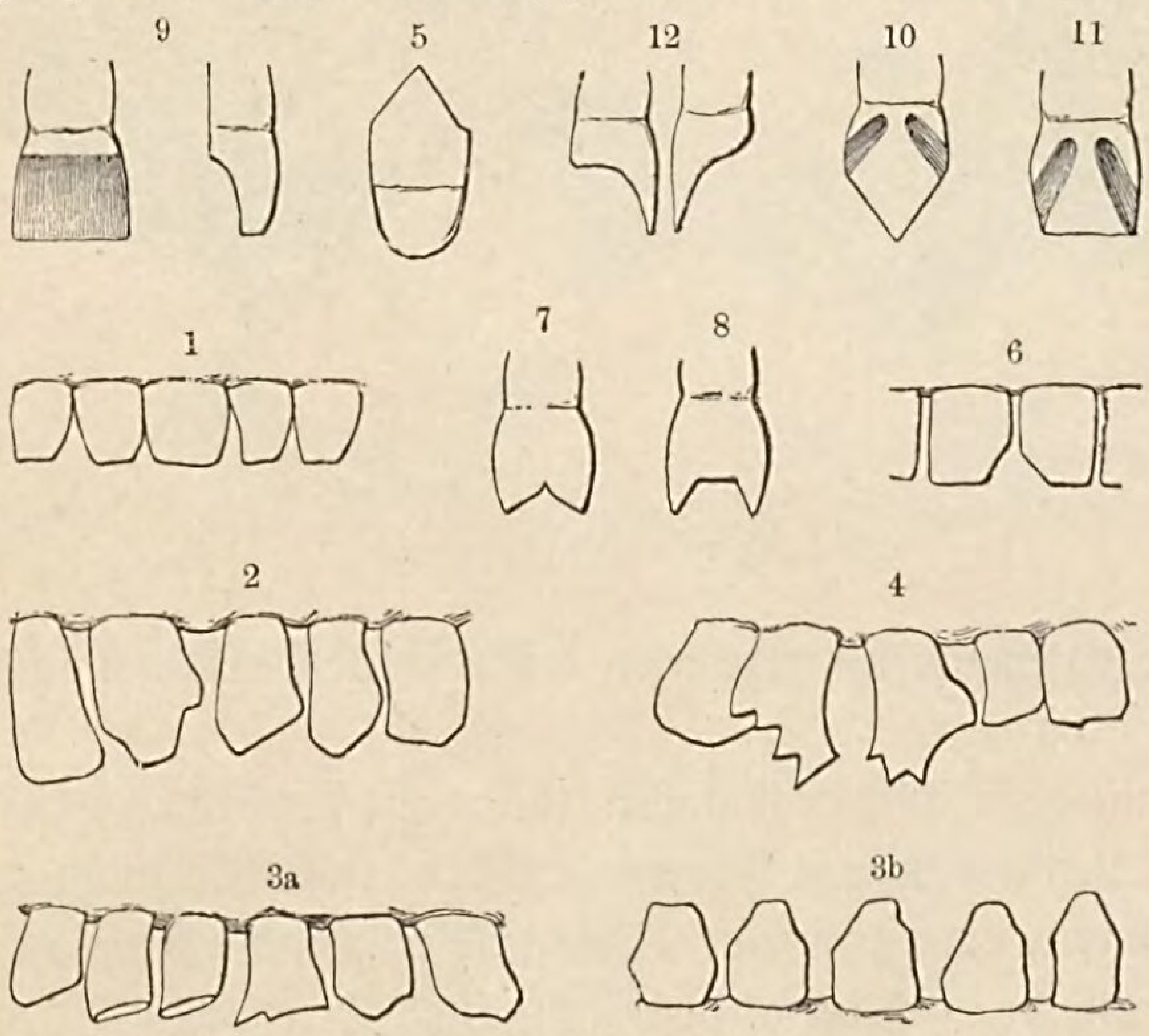
Man hat viel von den schädlichen Folgen der künstlichen Kopfumgestaltung gesprochen, und namentlich wollen die eben genannten Ärzte in der Kopfumformung höheren Grades eine Ursache gesteigerter Anlage zu Geisteskrankheiten und zu anderen vom Gehirn ausgehenden Nervenleiden finden. Ja, man hat die Behauptung gewagt, daß infolge der gemachten Prozeduren der gesamte Volksgeist und Volkscharakter schädlich beeinflußt werde.

Wenn auch nicht geleugnet werden kann, daß gewiß in manchen Fällen aus den frühen Mißhandlungen des Kopfes, durch welche nicht selten entzündliche Prozesse, z. B. in den Schädelnähten, welche zu deren vorzeitiger Verwachsung führen, erzeugt werden, Nachteile namentlich physischer und nervöser Natur sich herausbilden können, so erscheint es doch unstatthaft, den Schluß, daß in dieser Umformung die wahre Ursache für geistige Störung gefunden werden müsse, schon daraus ziehen zu wollen, daß in Gegenden, in welchen dieser verwerfliche Gebrauch allgemein herrscht, unter den Insassen von Irrenhäusern solche mit Kopfumformung in größerer Anzahl vertreten sind. Die Allgemeinheit der Sitte erklärt dort das zahlreichere Auftreten von Personen mit umgeformten Köpfen in jedem Lebensverhältnis zur Genüge. Man hat die modernen Stämme und Völker, welche der absichtlichen Kopfplastik anhängen, wohl geistesstumpf genannt; aber wir kennen alle die wunderbaren Monumente einer eigenartigen, hoch entwickelten Kultur, welche uns die alten Völker Perus und Mexikos trotz ihrer künstlich mißgestalteten Köpfe hinterlassen haben. Und überdies lehrt uns die Pathologie, daß aus gewissen an sich geringfügigen, im Kindesalter wirksam werdenden Wachstumsstörungen des Schädels, deren primäre Folgen in frühzeitigen Nahtverwachsungen einiger Kopfknochen gipfeln, alle die beschriebenen Kopfmißgestaltungen und noch eine Anzahl anderer, noch auffälligerer entstehen können ohne bemerkbare geistige Störung. Perikles soll einen angeborenen „Spitzkopf" gehabt haben. Das Gehirn beweist als Zentralherd des Lebens in staunenswerter Weise die Fähigkeit, sich, wie vor allem N. Rüdinger und A. Ecker nachgewiesen haben, auch bei künstlicher Formumgestaltung

veränderten Lageverhältnissen anzupassen und sich für Einengung an einer Stelle durch stärkere Entwickelung in anderen Richtungen schadlos zu halten. Gewiß wirkt die künstliche Umformung des Kopfes unter Umständen auf die Gehirnentwickelung schädlich, und N. Rüdinger, der bis jetzt erste und einzige Forscher, welcher das Gehirn eines in hohem Grade künstlich deformierten Schädels (von einem Manne von Mallicollo) untersuchen konnte, fand in der That deutliche Zeichen von Verkümmerung einzelner Hirnteile, aber ebenso gewiß hat man bis jetzt die Anschauungen über die ungünstige Einwirkung der Schädelplastik auf die Psyche übertrieben. Die Köpfe mancher der berühmtesten amerikanischen Häuptlinge, die gefeiertsten Krieger, die geschicktesten Redner waren stark deformiert. Eine Abnahme des Rauminhalts für das Gehirn kann im allgemeinen als Folge der künstlichen Deformierung nicht konstatiert werden. (Weiteres folgt in Band II.)

Zahnplastik. Nägel- und Nasenumformung.

Unter den Versuchen, dem Körper oder wenigstens dem Gesicht ein „tierähnliches" Aussehen zu geben, besitzen die verschiedenen Bearbeitungen der Zähne, welche wir vielfach über die Erde verbreitet antreffen, eine, wie v. Ihering findet, besonders ethnographisch hohe Bedeutung. Es ergibt sich, daß trotz weiter Verbreitung bestimmter Sitten der Zahnumformung doch eine Zugehörigkeit der verschiedenen Methoden dieser Art der Körperverschönerung zu bestimmten Rassen und Stämmen kaum zu verkennen ist.



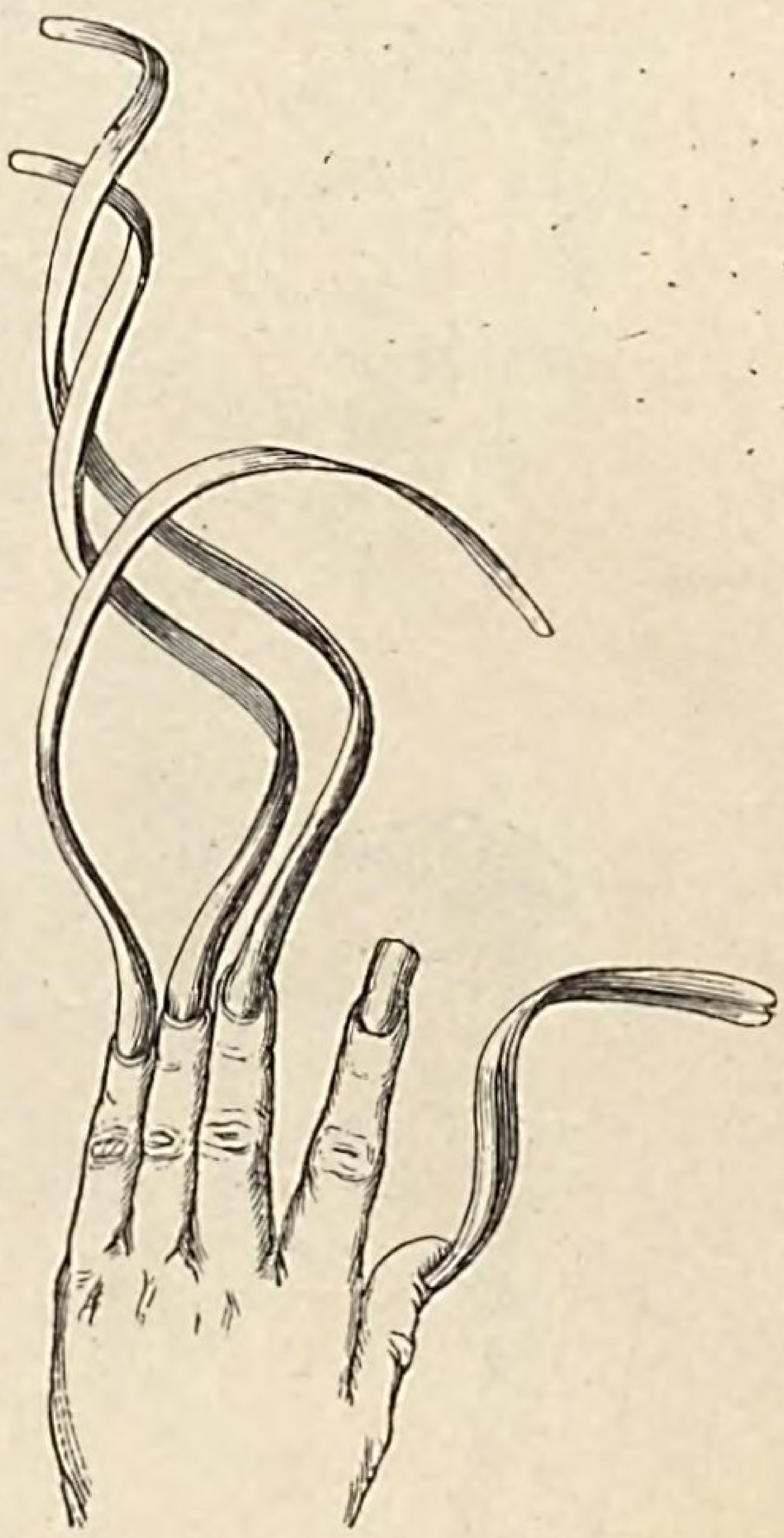
Verschiedene Formen künstlich mißgestalteter Zähne (nach Jagor).

1 bis 4) Zahndeformierung der Kader aus den Anamallybergen in Indien (3a Ober-, 3b Unterkiefer); 5 bis 8) zugespitzte Zähne von Negern; 9 bis 12) Beispiele von Flächen- und Reliefeilung der Zähne von Malayen.

Die Arten der Zahnplastik sind sehr verschieden. Den einfachsten Fall stellt das Färben der Zähne dar. Schwarzfärben der Zähne ist im malayischen Inselgebiet häufig, bald mit Feilung der Zahnkronen kombiniert, bald für sich allein; auch die verheirateten Japanerinnen und die Frauen von Birma färben die Zähne schwarz. Das Färben der Zähne findet sich aber ebenfalls in Afrika, wo die Frauen von Bornu ihre Zähne rot färben. Die übrigen Bearbeitungen des Gebisses bestehen teils in künstlicher Bearbeitung der Zähne, teils im Ausziehen derselben. Die letztere Sitte wird des Zahnwechsels wegen in der Regel erst mit dem 10. bis 12. Jahre oder bei der Mannbarkeitserklärung, manchmal erst vor der Heirat ausgeübt. Für das Ausziehen der Zähne als Verschönerungsmittel gibt es drei verschiedene Zentren: Afrika und Australien, wo es sich dabei um nationale Auszeichnung handelt, und das östliche Polynesien, wo der Gebrauch als Trauerverstümmelung auftritt. Es werden je nach den Stämmen obere oder untere, einer oder mehrere Schneidezähne ausgerissen. Die Zuspitzung der Zähne ist vor allem den echten Negervölkern eigen, und es wird dabei in der Regel der Zahn nicht gefeilt, sondern mit der Klinge und dem Hammer behauen. Bei den Bantuvölkern kommen Einkerbungen der Zähne mit Zackenbildung vor (Fig. 5, 6, 7, 8). Wo dabei der Gebrauch, die Zähne zu feilen, sich findet,

dienen Steine als Instrumente. Das Feilen der Zähne ist in sehr verschiedener Weise bei den Malaien des Indischen Archipels üblich, wobei der untere Rand gewöhnlich glatt und gerade gefeilt und die vordere Fläche abgefeilt wird (Fig. 9). Ihering nennt dies „Flächenfeilung" im Gegensatz zur „Relieffeilung", bei welch letzterer ein Teil der vorderen, mit Schmelz versehenen Fläche des Zahnes in Gestalt eines Dreiecks stehen bleibt, während die seitlichen Teile der vorderen Fläche des Zahnes abgefeilt und geschwärzt werden (Fig. 10, 11, 12). Dabei wird der Kaurand des Zahnes entweder gerade gefeilt, oder zugespitzt. Relieffeilung mit Zuspitzung findet sich auf einige Sunda-Inseln beschränkt (Fig. 11). Auf Borneo und Celebes, früher auch auf den Philippinen, besteht die Sitte, in die oberen Schneidezähne ein Loch an der Vorderfläche zu bohren und dieses mit Metall, womöglich mit Gold, auszufüllen. Die Verwendung von Gold zum Schmuck der Zähne kommt auch in Sumatra vor, wo man Zahnfutterale aus Goldblech macht. Bastian und später Hamy weisen darauf hin, daß auch unter den amerikanischen Ureingeborenen (z. B. in Mexiko, Mittelamerika ꝛc.) vor alters die Zahnplastik im Gebrauch war. Die Zähne wurden spitzig „geschliffen" und gefärbt; man fand auch durchbohrte Schneidezähne, in deren künstliche Löcher ein blaugrünlicher Stein, gut geschliffen, eingesetzt war. Doch scheint diese Operation erst nach dem Tode als Leichenschmuck ausgeführt worden zu sein.

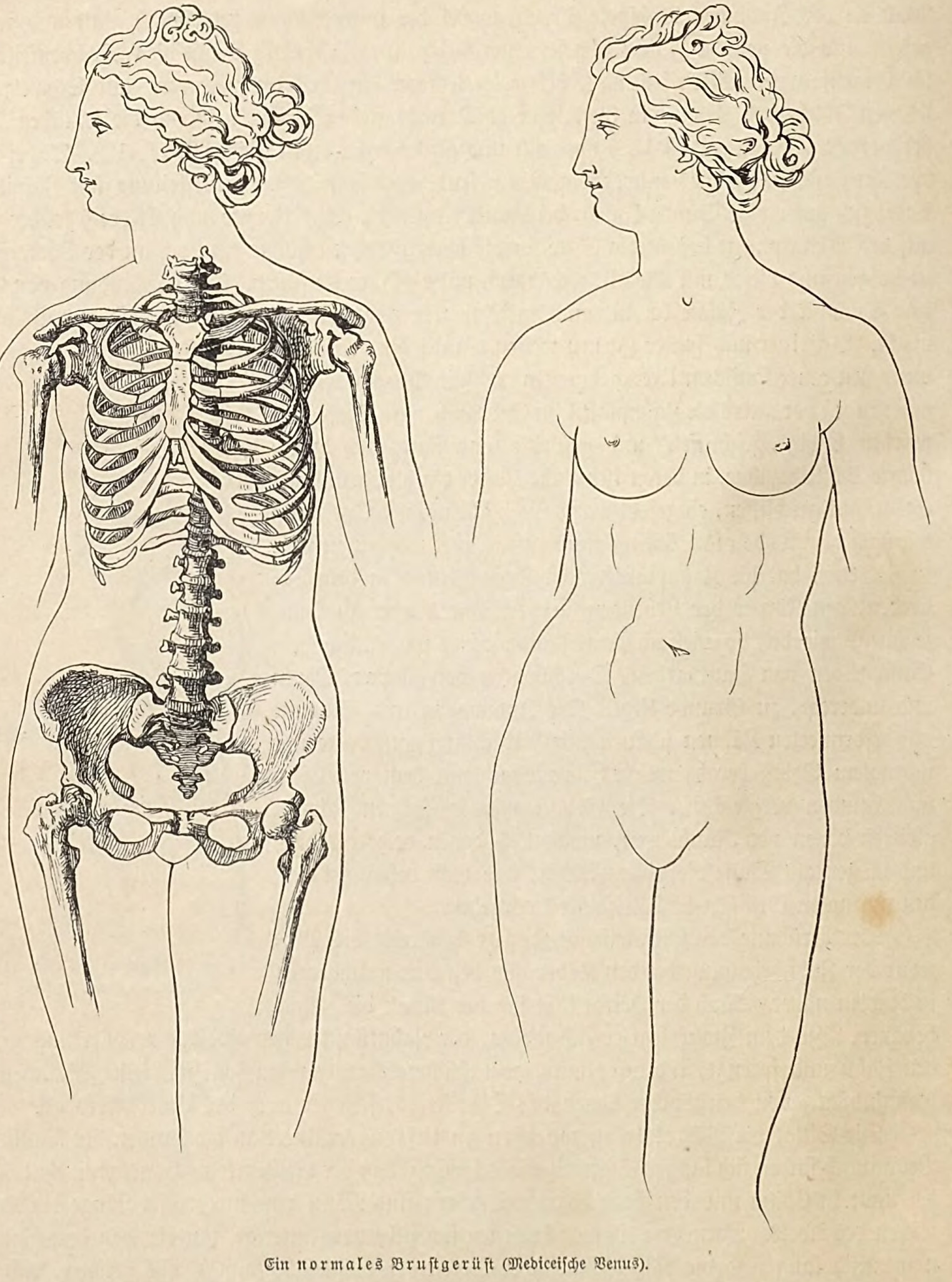
Gewiß hat die Zahnplastik meist ihren Grund in dem Bestreben, den Körper der Lebenden zu verschönern oder zu kennzeichnen, wie das so vielfach dem Tättowieren, namentlich dem Einschneiden von Hautnarben, Durchbohren von Lippen, Ohren und anderem, zu Grunde liegt. Die Individuen und Stämme mit deformierten Zähnen schauen mit Verachtung auf Leute mit normalem Gebiß herab, welches sie vielfach mit dem von Eseln und Hunden vergleichen. Die Gebisse mit zugespitzten Zähnen gleichen denen von Raubtieren, namentlich denen des Krokodils, und mögen als Waffe vielleicht wirklich, wie man behauptet hat, den normalen Gebissen in Wirksamkeit vorgehen.


Die Handnägel eines chinesischen Asketen (nach Tylor).

Der berühmte deutsche Reisende Jagor beschreibt die Prozedur der Zahnbehauung bei den Kader aus den Anamallybergen in Indien näher. Nach der Heirat läßt sich der Mann die Zähne behauen. Zu dem Zweck legt er sich nieder, der Zahnkünstler setzt eine Federmesserklinge gegen den Zahn und sprengt, indem er mit einem Hämmerchen dagegen schlägt, kleine Stückchen der Zahnsubstanz von den Vorderzähnen des Oberkiefers, seltener auch des Unterkiefers ab.

Die Sitte, die Nägel lang wachsen zu lassen, erinnert an die Krallen der Raubtiere. Bekanntlich finden sich lange Fingernägel als Zeichen, daß der Besitzer keine Handarbeit thut, selbst bei uns; in China und den benachbarten Ländern sind Nägel von monströser Länge ein Kennzeichen des Adels. Vornehme Damen bedienen sich silberner Futterale, um die Nägel zu schützen; namentlich lang sind die Nägel chinesischer Asketen (s. obige Abbildung), als Zeichen, daß der heilige Mann keine weltliche Arbeit verrichtet.

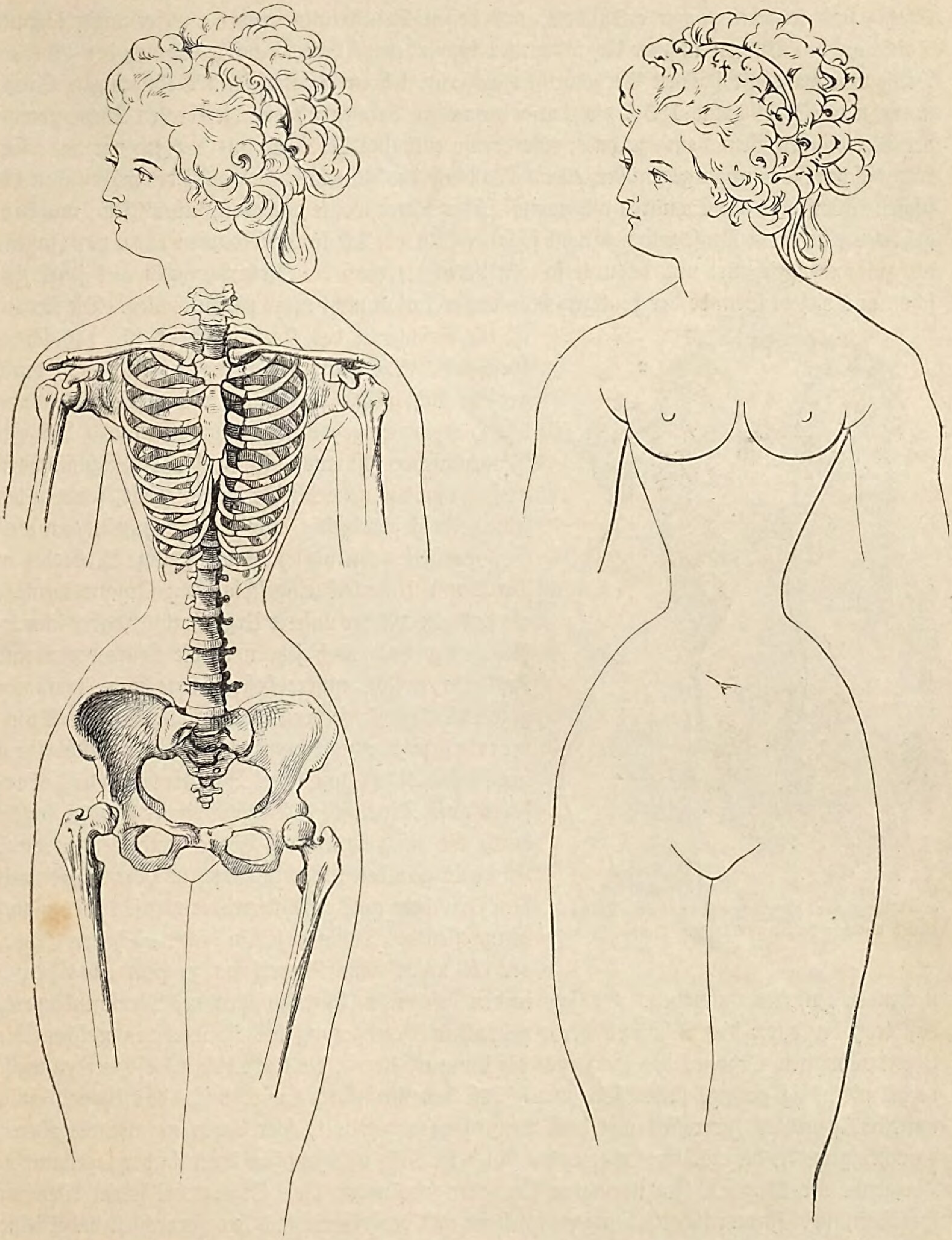
Auch die Nasen werden vielfach plastisch geformt. Bei den Hottentotten drücken die Mütter die Stumpfnasen der kleinen Kinder möglichst tief ein, während, wie Tylor ebenfalls bemerkt, es bei den alten Persern gebräuchlich war, an jedem jungen Prinzen die Nase so zu bearbeiten, daß sie die ideale Form einer kühnen Adlernase möglichst vollkommen erreichte.



Ein normales Brustgerüst (Mediceische Venus).

Rumpfplastik.

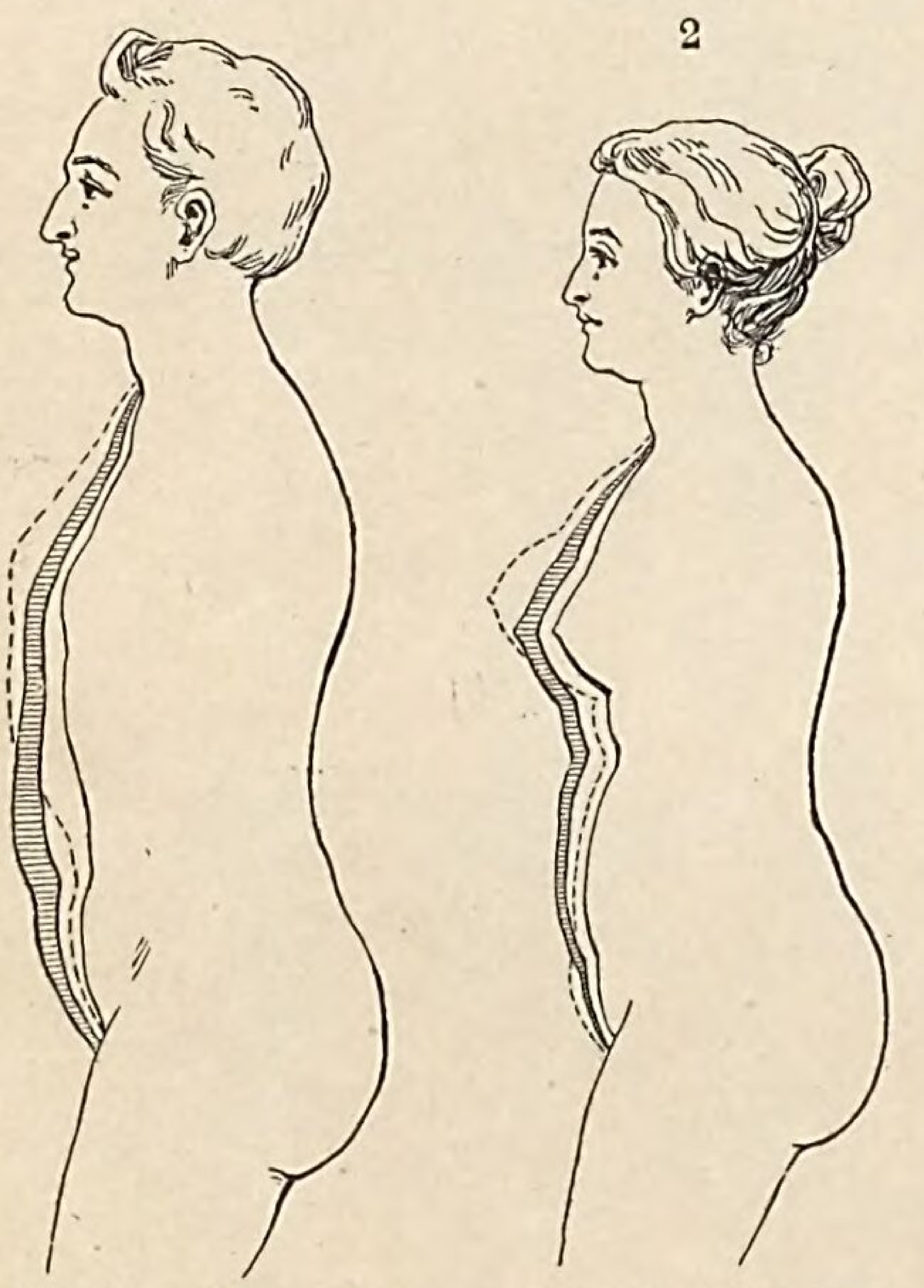
Wahre Gefahren für die Gesundheit birgt die in ihren Anfängen von den Römern aus dem klassischen Altertum zu den modernen Kulturvölkern herübergekommene Sitte der künstlichen Brustkorbplastik, die im vorigen Jahrhundert bis zum Extrem ausgebildet war, aber häufig jetzt noch im Übermaß herrscht.



Ein durch Schnüren deformiertes Brustgerüst (Dame aus der Zeit vor der ersten französischen Revolution).

Die Römerinnen zur Zeit der größten Blüte der lateinischen Litteratur und Kunst im Augusteischen Zeitalter trugen, wenn die Lebensblüte zu schwinden begann, eine Zirkelbinde, welche dem Brustkorb die jugendliche schlanke Form, dem Busen die jungfräuliche Kleinheit und Wölbung künstlich zurückgeben sollte. Aus dieser einfachen Verschönerungsmethode des weiblichen Körpers entwickelte sich das Mieder, welches sich am Ende des vorigen Jahrhunderts zu jenem

Stahl- und Fischbeinpanzer ausbildete, aus dessen Druckresultat wir die wespenartig schlanke Taille an den Bildern unserer Urgroßmütter bewundern. Wie weit sich dadurch der Bau der Brust von wahrhaft schönen Verhältnissen entfernt, lehren die klassischen Abbildungen Sömmerrings (S. 194 und 195), die einem normalen Brustgerüst, in die idealen Körperumrisse der Mediceischen Venus eingezeichnet, eine ebenso enthüllte Schönheit aus der Zeit vor der ersten französischen Revolution gegenüberstellen. Während des Mittelalters war bei der männlichen höfischen Ritterschaft das Schnüren allgemein. Jeder Ritter wollte „geraden Leibes“ sein, und dazu gehörten eine breite Brust und möglichst schlanke Hüften. Die letzteren wurden daher von Jugend auf zusammengeschnürt und dadurch so weit verengert, daß die Stahlrüstungen aus jener Zeit schon aus diesem Grunde der heutigen Männergeneration nicht mehr passen wollen. Die Neuzeit ist die Erfinderin des Korsettmieders für das schöne Geschlecht. Die Fülle der weiblichen Büste soll durch größere Schlankheit der Taille und zierliche Rundung der Hüftpartien gehoben werden. Während das alte Damenmieder fast ausschließlich die Taille zusammenpreßte, thut das neue Mieder nicht nur das, sondern übt seinen Druck gleichzeitig auch auf die Hüftknochen aus.

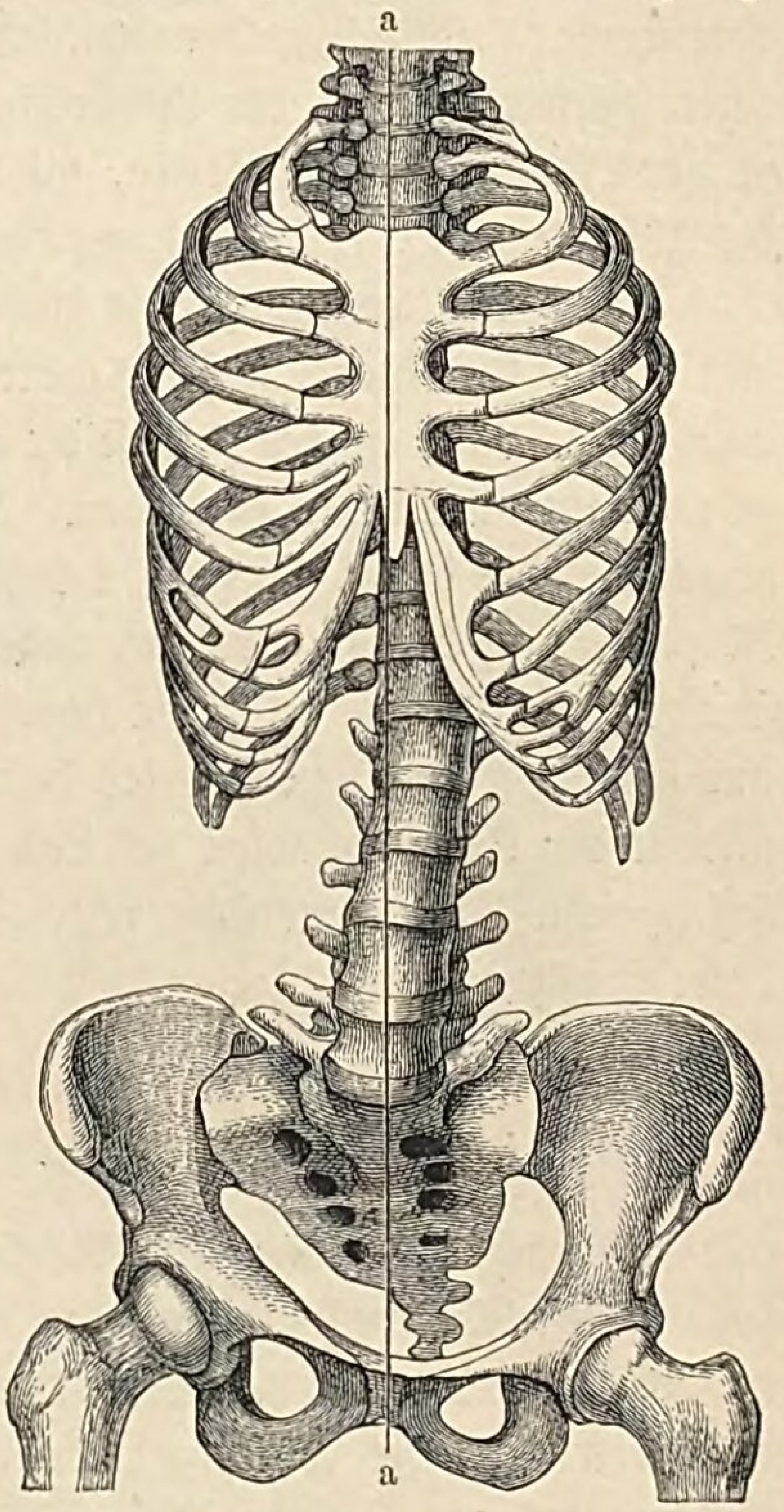


Stellungsveränderung der vorderen Leibeswand bei der Atmung: 1) beim Manne, 2) beim Weibe.

Zweifellos beeinträchtigt die heutige Mode die in Brust und Unterleib eingeschlossenen Organe weniger als das alte Mieder unserer Urgroßmütter, aber immerhin gelten doch auch jetzt noch die Warnungen und Anklagen, welche unsere besten Ärzte und Anatomen gegen die Auswüchse der Mode gerichtet haben. Sömmerring zählt eine Summe von hundert verschiedenen krankhaften Körperzuständen als Wirkung des Korsetts auf. Die elastische Biegbarkeit der Rippen, welche durch die nach unten an Länge zunehmenden, aus Knorpeln gebildeten Verbindungsstücke der Rippen mit dem Brustbein noch erhöht wird, ermöglicht ein Zusammenpressen der Taille in jenem lächerlich hohen Grade, der die naturschöne Körperform zu dem Ideal eines stechenden Insektes ummodelt. Es liegt in den besonderen Einrichtungen des Menschenkörpers, daß trotz der durch das Schnüren hervorgebrachten Verengerung des Raumes, in welchem die lebenswichtigsten Organe, das Herz und die Lungen, liegen, die körperlichen Beschwerden meist verhältnismäßig geringe sind. Der untere Teil des Brustkorbes wird durch das kuppelförmig aufwärts gewölbte Zwerchfell von dem Brustraum abgetrennt, hier liegen normal die oberen Baucheingeweide, die mächtige Leber rechts, links die Milz und zwischen ihnen in der sogenannten Herzgrube der Magen. Im normalen Verhalten verändern diese Organe bei jedem Atemzug ihre Stellung. Indem sich die Lungen erweitern und vergrößern und das Zwerchfell dabei seine Wölbung aktiv verflacht, rücken bei jeder Einatmung die genannten Verdauungsorgane tiefer herab, und wir sehen sie dem entsprechend die Wand des Unterleibes stärker hervorwölben.

Durch die Pressung des Mieders in der Taille werden in ähnlicher Weise, wie es bei der Einatmung normal erfolgt, die im Brustkorb unter dem Zwerchfell gelegenen Organe in die Unterleibshöhle herabgedrückt. Dadurch wird die Möglichkeit der Atembewegung des Zwerchfelles teilweise oder fast ganz aufgehoben, aber die Elastizität der Rippen ist so groß, daß durch eine Steigerung der Thätigkeit der oberen Brust- und Atemmuskeln der Lungenraum des Brustkorbes

mit ihrer Hilfe doch noch um so viel erweitert werden kann, als dem Atembedürfnis entspricht. Die Atembewegungen der Brust werden dadurch bei stark geschnürten Frauen zu wesentlich anderen als bei ungeschnürten Männern. Während sich bei letzteren bei der Einatmung namentlich durch Abflachung des Zwerchfelles der Brustraum vergrößert, arbeitet bei den Frauen zu dem gleichen Zweck vorzüglich die Muskulatur der oberen Brustpartien (vgl. Abbildung, S. 196[1]). Stärkere körperliche Anstrengungen, welche, wie der Tanz, das Atembedürfnis erhöhen, verstärken dieses mühsame Keuchen der in ihren Bewegungen behinderten Atmungsmaschine. Die glühende Röte, welche Wangen und Busen übergießt, beweist, daß dann trotz der gesteigerten Anstrengung die Atmung nicht mehr vollkommen dem Bedürfnis der Blutbewegung und Bluterneuerung Genüge zu leisten vermag.



Verkrümmung der Wirbelsäule bei jungen Mädchen infolge angestrengten Sitzens. Die Senkrechte aa verdeutlicht das Maß der Verkrümmung.

Namentlich sind es Störungen im normalen Verlauf der Blutzirkulation in den Brust- und Unterleibsorganen, und zwar vorwiegend in der Leber, welche die unzweifelhafte Schädlichkeit des übermäßigen Einschnürens der Taille ausmachen. Aber nicht weniger wichtig sind die Wirkungen auf die Beckenorgane, und zwar stimmen die Ärzte darin überein, daß durch den auf jene Organe ausgeübten Druck Schiefstellung und Tieferstellung des Uterus mit all ihren gefürchteten Folgen, welche einen so großen Teil dessen umfassen, was unter dem Namen Hysterie begriffen wird, hervorgerufen werden könne. Bei jugendlichen Mädchen verengert der Druck des Korsetts auf die noch nicht vollkommen verknöcherten Hüften auch diese und damit die Beckenhöhle, deren größere Weite gegenüber den männlichen Körperverhältnissen die Natur dem weiblichen Geschlecht als ein vorsorgendes Geschenk für die wichtigste Periode ihres Daseins als werdende Mutter auf den Lebensweg mitgegeben hat.

Das von den ländlichen Schönen geübte Einschnüren der Taille lediglich durch den Rockbund wirkt vielleicht oft noch schädlicher als das Mieder. Der Druck läuft hierbei namentlich über die Leber hin, und diese wird infolge davon geradezu stranguliert. Anderseits findet sich unter den ländlichen Trachten an vielen Orten ein brettartig steifes Mieder, das, mit allerlei Schmuck behängt, über den Unterkleidern als Zierde getragen wird. Man hat unter der Bevölkerung der bayrischen Hochebene Gelegenheit, zu beobachten, wie schädlich diese Tracht wirken kann, wenn sie ihren Druck auch auf die Brüste ausdehnt. Schwinden dieser wichtigen Organe, oft Eindrücken der Brustwarzen und die erschreckend hohe Sterblichkeit der Säuglinge in jenen Gegenden ist nicht zum geringen Teil die Folge jener unschönen Mode, welche die Ausübung der mütterlichen Pflicht des „Stillens" verhindert.

---

[1] Die punktierte Linie entspricht der stärksten Einatmung, die einfach ausgezogene Linie der stärksten Ausatmung. Von den durch Querstriche verbundenen Linien stellt die äußere die Stellung der Brust-Bauchwandung bei der gewöhnlichen ruhigen Einatmung, die innere die bei der ruhigen Ausatmung dar. Die stärkste Ausdehnung erfährt die Brust-Bauchwandung bei dem Manne in dem unteren (Bauchatmung), bei der Frau in dem oberen Abschnitt (Brustatmung).

Auch unbeabsichtigt wirken die gesteigerten Anforderungen der Zivilisation, denen wir unsere Kinder unterwerfen zu müssen glauben, im Sinne einer künstlichen Brustkorbplastik. Die hohen Schultern und der schiefe Rücken so vieler halberwachsener Mädchen aus den vorzugsweise gebildeten Ständen ist eine der zahlreichen schädlichen Folgen, welche das angestrengte Sitzen bei an sich weniger kräftigen Personen in dem bildsamen Jugendalter hervorbringt. Das anhaltende Sitzen, welches eine beständige Anstrengung des Rückens verlangt, läßt die Rückenmuskeln um so mehr ermüden, wenn, wie es so häufig der Fall ist, die Muskelkräfte schon an sich unvollkommen entwickelt sind. Der Bandapparat und die Knorpel sind bei schwächlichen Kindern schlaff oder weniger elastisch, der vorwiegende Gebrauch des rechten Armes veranlaßt beim Sitzen zu einer schiefen Haltung der Wirbelsäule. Daher rührt es, daß die Wirbelsäulenverkrümmung junger Mädchen, die Skoliose, fast immer eine rechtsseitige ist; die Wirbelsäule biegt sich, wie die Abbildung (S. 197) zeigt, meistens oben nach rechts konvex, unten nach rechts konkav.

Vor dem Alter, welches die schwächlichen Kleinen an die Schulbank fesselt, bildet sich manchmal infolge der Unart, auf das linke Bein gestützt, schief zu stehen, die entgegengesetzte Krümmung aus. Nach einiger Zeit ist die anfänglich aus Nachlässigkeit angenommene schiefe Haltung zu einer unwillkürlichen geworden. Das Bewußtsein des normalen Gleichgewichts ist verloren gegangen, die schiefe Haltung bringt beim besten Willen das täuschende Gefühl der geraden Körperstellung hervor. Endlich passen sich im Laufe der Jahre alle Teile: Muskeln, Knorpel, Bänder, Gelenke, ja selbst die Knochen, der verkrümmten Körperhaltung an, und die anfangs nur gewohnheitsmäßige schlechte Haltung wird zur bleibenden, unheilbaren. Um so wirksamer sind in den Anfangsstadien des Leidens vollkommene Streckung und Umkrümmung in die entgegengesetzte Lage, unterstützt durch Gymnastik und geeignete, den Körper im allgemeinen stärkende Ernährung.

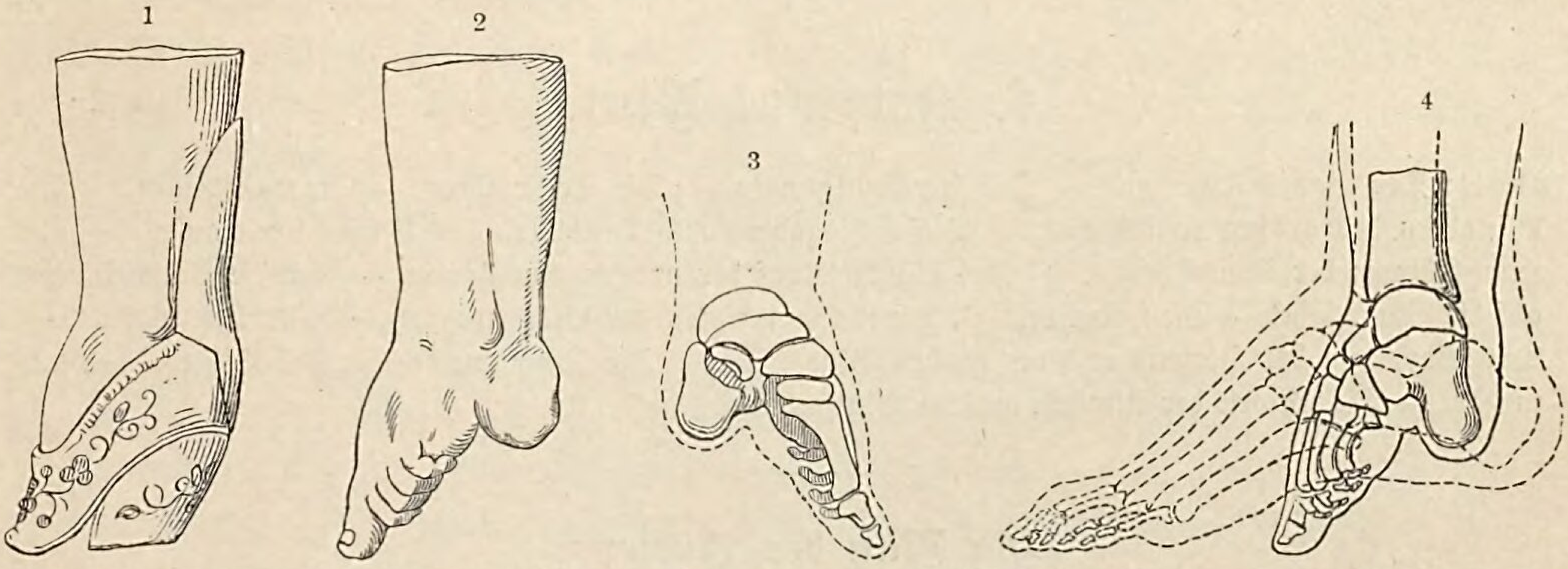
Fußplastik.

Schwäche des Band- und Muskelapparats führt in anderen Lebensverhältnissen zu anderen fehlerhaften Körperumbildungen, welche, wie die Skoliose, sich aus einseitiger Körperanstrengung im Jugendalter erklären. Wir meinen hier vorzüglich die Plattfüße junger Dienstboten und die Knickbeine der Lehrlinge, Verhältnisse, welche auch eine gewisse ethnographische Bedeutung für uns erlangen werden, da nach älteren Behauptungen der Plattfuß bei Negern, namentlich bei in der Sklaverei geborenen, auffallend häufig zur Beobachtung kommen soll.

Der Fuß des Menschen ist neben dem mächtig entwickelten Gehirn das Hauptcharakteristikum der Menschenform. Er ist namentlich im Gegensatz zu dem Affenfuß ein Organ, welches zunächst lediglich zur Fortbewegung des Körpers bei dem aufrechten Gange geeignet ist. Er stellt ein elastisches Gewölbe dar, gebildet aus den sieben fest durch Bänder zusammengefügten Fußwurzelknochen und fünf Mittelfußknochen, an welchen nach vorn die fünf beweglichen Zehen als Endstücke ansitzen. Die Festigkeit des Stehens auf dem Boden, die Leichtigkeit des Gehens, die physiologische Thätigkeit der Fußmuskeln, Gefäße und Nerven beruhen in hohem Maße auf der Gewölbkonstruktion des Fußes, bei welcher der äußere Fußrand tiefer, der innere Fußrand höher zu stehen kommt. Die Festigkeit des Fußgewölbes, auf dessen Höhe der Unterschenkel des Beines beweglich aufgepflanzt ist und von dieser Stelle aus die ganze Körperlast auf das Fußgewölbe überträgt, beruht auf der Spannung und Festigkeit der Bänder, welche die Fußwurzelknochen und Mittelfußknochen zusammenhalten. Sind diese Bänder bei schwächlichen jugendlichen Individuen schlaff und schwächer, als sie normal sein sollten, so bewirkt der Druck, den die Körperlast auf das Fußgewölbe ausübt, daß sich das letztere verflacht. Endlich steht der innere Fußrand fast ebenso tief

wie der äußere, die Sohle des Fußes berührt in ganzer Ausdehnung den Boden, wir haben den charakteristischen Plattfuß vor uns, welcher die Leistungen des Fußes wesentlich beeinträchtigt. Kommt zu der Schwäche der Fußbänder im Jugendalter noch die Notwendigkeit, schwere Lasten zu tragen, so entwickelt sich fast ausnahmslos der Plattfuß.

Der Plattfuß führt uns zu jenen künstlichen Körperumformungen über, durch welche die gebildetsten Nationen ihrem Fuß eine der Mode entsprechende Gestalt zu geben bestrebt sind. Wir können es aussprechen: alle Füße der für gewöhnlich mit irgend einem Schuhwerk bekleideten Nationen sind im erwachsenen Alter verkümmert und anderweitig durch den Druck der Fußbekleidung naturwidrig verändert. Die Zehen sind verschoben, der Mittelfuß ist vorn zusammengedrückt, das Gefühl für eine normale Fußstellung durch das Anbringen allzu hoher Absätze verloren gegangen.



Der Klumpfuß einer Chinesin: 1) beschuhter Fuß, 2) nackter Fuß, 3) Lage der Fußknochen, 4) Vergleich mit einem normalen Fuße.

Lassen wir Europäer und Europäerinnen uns schon viel von unseren Schuhmachern gefallen, so erscheinen doch die durch sie veranlaßten Fußummodelungen immerhin noch gering gegen jene Veränderungen und Verkümmerungen der Fußgestalt, welche die Mode den chinesischen Frauen auferlegt. Auch diese Verunstaltungen reihen sich insofern den „tierähnlichen Verbildungen" an, als der Fuß der Chinesin künstlich einem Pferdehuf ähnlich gemacht wird. Im alten Katai, in China, hat ein Damenfuß erst dann Anspruch darauf, schön gefunden zu werden, wenn er nicht mehr als 8—10 cm Länge besitzt. Nur die Damen der höchsten Stände, welche nicht genötigt sind, zu gehen, können sich dieses Übermaß der Schönheit gestatten. Die Verkrümmung des Fußes wird sofort bei dem neugeborenen Kinde eingeleitet. Es werden schon in den ersten Lebenstagen Brettchen an die Fußseiten und an die Ferse angelegt und über sie der Fuß durch Binden gewaltsam zusammengeschnürt. Nur die große Zehe behält annähernd ihre normale Richtung, die übrigen Zehen werden unter die Fußsohle gedrängt, das Fersenbein wird nach unten abgebogen, das ganze Fußgewölbe zusammengekrümmt. Dabei wird durch den lange Zeit fortgesetzten allseitigen Druck das Wachstum des ganzen Fußes wesentlich beeinträchtigt. So entstehen die kleinen Klumpfüßchen der Chinesinnen, deren winziger Schuh mit seinem unnatürlich hohen Absatz es uns unglaublich erscheinen läßt, daß ein erwachsenes menschliches Geschöpf sich seiner bedienen könne. Unsere Abbildung zeigt nach Welcker die Knochen eines normalen und eines chinesischen Frauenfußes ineinander gezeichnet; nichts könnte uns besser die Größe der Störung anschaulich machen.

So vielen Leiden unterzieht sich der Mensch aus mißgeleitetem Schönheitstrieb!

II. Die niederen Organe.

6. Herz und Blut.

Inhalt: Der Bau des Herzens. — Die Herzbewegungen. — Die Schlagadern. — Die Haargefäße. — Die Blutadern des großen Kreislaufes. — Die Schlagadern und Blutadern des kleinen Kreislaufes. — Die Hauptstämme der Lymphgefäße. — Der Blutkreislauf der menschlichen Frucht. — Nervöse Einwirkungen auf die Blutgefäße. — Die Herzarbeit. — Die Geschwindigkeit der Blutbewegung. — Der Arterienpuls. — Das Wachstum des Herzens und der großen Blutgefäße. — Die Zusammensetzung des Blutes. — Blutmenge. — Die Theorie der Atmung und der Blutfarbstoff.

Der Bau des Herzens.

Wir haben den Wunderbau des Menschenleibes vor unseren Augen entstehen und sich bilden sehen. Nun ist es unsere Aufgabe, einen Einblick zu gewinnen in das innere mechanische Getriebe dieses vollendetsten unter den Kunstwerken, welche aus den Händen der schaffenden Natur hervorgegangen sind.

Ja, wenn unser Körper durchsichtig wäre wie Glas, wenn wir durch den geheimnisvollen Schleier, mit welchem die äußeren Körperhüllen die inneren Organe und ihre Thätigkeiten decken, hindurchblicken, das Herz und die Lungen, die Organe der Aneignung und Abscheidung, der Empfindung, Bewegung und Reproduktion in ihrer ungestörten Thätigkeit belauschen könnten! Aber wir müssen die organische Maschine zerlegen, um ihre einzelnen Teile und die Art und Weise ihrer Verknüpfung zu erkennen, und aus den Teilstücken soll es uns dann gelingen, das Ganze in unserer Vorstellung wieder zusammenzusetzen, schöpferisch wieder aufzubauen. Zwar vermögen wir dies nur bruchstückweise, aber die gesetzmäßige Bauähnlichkeit aller animalen Organismen gibt uns auch hier wenigstens für die nächsten sich aufdrängenden Fragen Beobachtungsmethoden an die Hand, welche den Wunsch, einen direkten Einblick in die Organlagerung und Organthätigkeit zu gewinnen, wenigstens zum Teil befriedigen.

Freilich, jene glasartig durchsichtigen kleinen Krusten- und Weichtiere des Meeres, welche, in einem Tropfen Wasser ohne jegliche Störung ihres normalen Befindens eingeschlossen, dem mit dem Mikroskop bewaffneten Auge des Forschers die Geheimnisse ihrer inneren Lebensverrichtungen gleichsam freiwillig zur Betrachtung darbieten, stehen in ihren anatomischen Verhältnissen dem Menschen so fern, daß die an ihnen sich ergebenden Beobachtungsresultate sich nur teilweise und unvollständig auf das höchste Objekt der Naturforschung übertragen lassen. Aber auch in der obersten Gruppe des animalen Lebens, unter den Wirbeltieren, an deren Spitze im System der Zoologie der Mensch steht, kommen wenigstens in dem ersten Jugendzustand sehr vollkommen

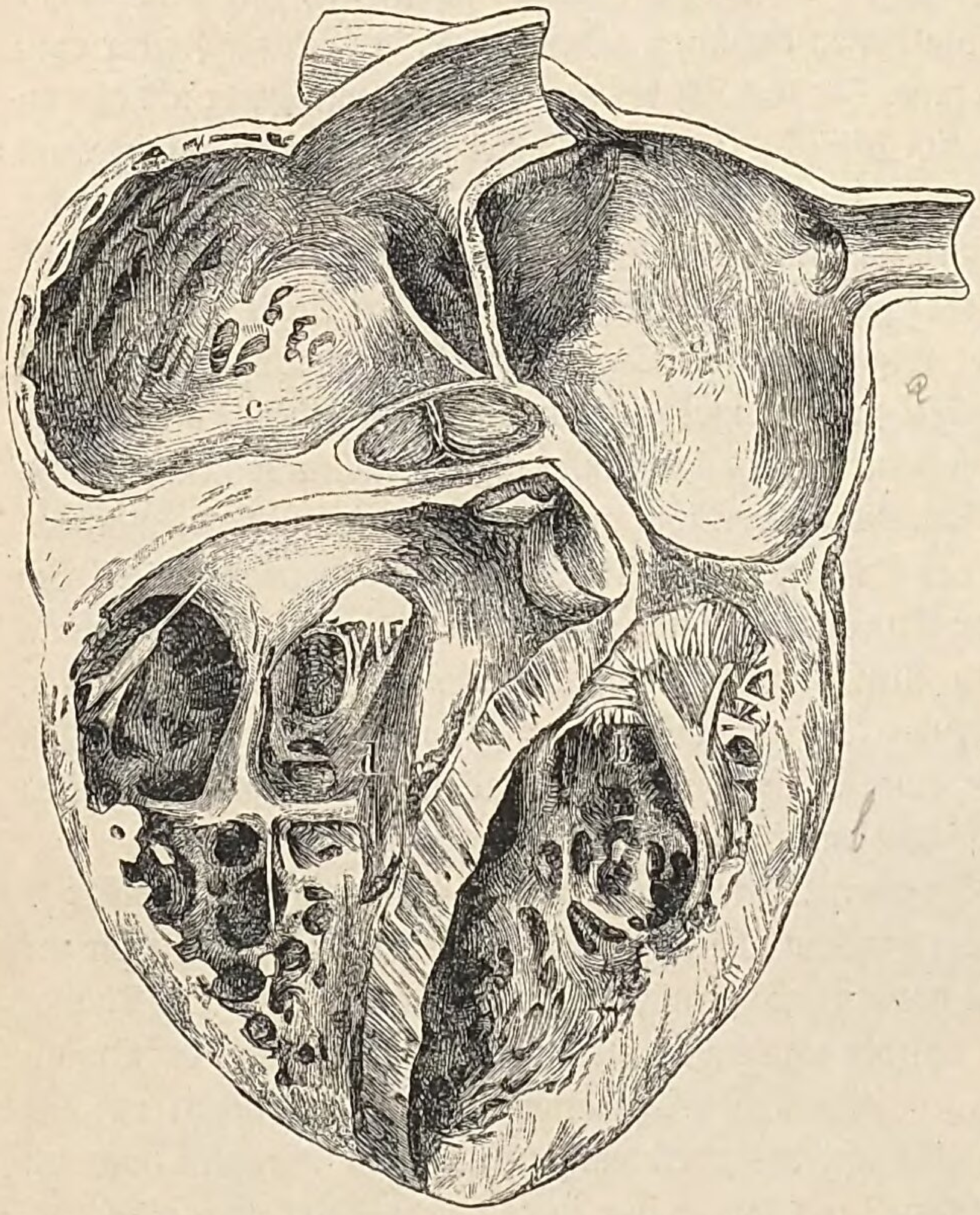
durchsichtige Wesen vor. Eben aus dem Ei geschlüpfte oder noch in die vielfach glashelle Eihülle eingeschlossene Fischchen gestatten dem Mikroskopiker direkte Anschauungen der Lagerung der hauptsächlichsten Körperorgane, der mechanischen Thätigkeiten des Herzens, der Blutgefäße, der Eingeweide, ja auch zum Teil der Muskeln und Nerven. Und wir dürfen bei der in vielen Beziehungen prinzipiellen Übereinstimmung im Bau und in den Verrichtungen der Wirbeltiere die an den Fischchen beobachteten Verhältnisse trotz ihrer relativen Einfachheit direkt auf die weit komplizierteren des Menschenkörpers übertragen.

Vor allem gilt das von dem allgemeinen Vorgang der Blutbewegung, mit welchem wir die Untersuchung der speziellen Organfunktionen beginnen. Aristoteles, der Begründer der anatomisch-physiologischen exakten Beobachtung, hat das sich bewegende Herz, welches er als „springenden Punkt", als punctum saliens, im frisch bebrüteten Hühnerei schon in einer außerordentlich frühen Bildungsepoche beobachtete, als „ein Tier im Tiere" bezeichnet. Und gewiß sehen die aktiven Bewegungen des Herzens namentlich unter dem Vergrößerungsglas bei dem eben aus dem Ei geschlüpften Fischchen wunderbar genug aus. Wir sehen, wie das kleine, durch seinen aus Blut bestehenden Inhalt rot oder rotgelb gefärbte Organ scheinbar freiwillig seine Gestalt verändert, wie es in rhythmischem Wechsel sich zusammenzieht und wieder ausdehnt, und wir erkennen dabei direkt, daß das Herz dadurch zur Ursache der Blutbewegung nicht nur in ihm selbst, sondern in all den mit ihm zusammenhängenden, von ihm ausgehenden und in ihm mündenden Blutgefäßen wird. An keinem anderen Organ treten die Lebensbewegungen mit solch erkennbarer Deutlichkeit uns vor Augen wie am Herzen; die Aktion der Muskelfasern, auch in ihrer Abhängigkeit von Nervenzellen und Nervenfasern, erkennen wir nirgends klarer. So wird uns das Herz zu einem erklärenden Beispiel für die Muskelbewegung überhaupt. Schon dies wird es rechtfertigen, wenn wir mit seiner Beschreibung die Betrachtung der Organthätigkeiten beginnen. Aber in noch höherem Maße gilt das für seinen Inhalt, das Blut.

Wir haben schon in den vorausgehenden Darlegungen das Blut als den Nahrungssaft des Organismus bezeichnet, aus welchem alle einzelnen und kleinsten Organteile ihr zur Erhaltung, Ernährung und Wachstum notwendiges Ernährungsmaterial schöpfen. Die Thätigkeit der Organe beruht im wesentlichen auf der regelmäßig fortlaufenden Verbindung der Organstoffe mit Sauerstoff in dem Vorgang der „organischen Oxydation". Das Blut führt, um das Organleben zu erhalten, den Organen nicht nur das „verbrennliche" Material, sondern auch den zur organischen Verbrennung erforderlichen Sauerstoff zu, der in gewissem Sinne auch als Nährstoff der Organe und zwar als einer von ausschlaggebender Wichtigkeit aufgefaßt werden kann. Neben diesen Ernährungsleistungen des Blutes, die sich im allgemeinen als eine Stoffzufuhr zu den Organen darstellen, fällt dem Blute die zweite Hauptaufgabe zu, die in den Organen unbrauchbar gewordenen oder unverbraucht austretenden Stoffe aus diesen aufzunehmen und wegzuschaffen. Die unverbraucht austretenden Stoffe werden zum Teil anderen Organen als Nahrungsstoffe zugeführt, soweit sie zur Anteilnahme an den Thätigkeiten der Körperorgane noch geeignet sind. Ein nicht unbeträchtlicher Teil der eigentlichen Organzersetzungsstoffe hat dagegen geradezu giftige Wirkungen nicht nur auf die Organe und Zellen, in denen sie entstanden sind, sondern auf den gesamten lebenden Organismus. Es gehören dahin namentlich die höchsten Sauerstoffverbindungen der Organstoffe, besonders Kohlensäure und Harnstoff. Diese nimmt das Blut in den Organen, indem es dieselben durchströmt und gleichsam auswäscht, durch Diffusion in sich auf und bringt sie in den „Ausscheidungsorganen", namentlich den Lungen, der Haut und den Nieren, aber zum geringen Teil auch im Verdauungskanal, zur Ausscheidung.

Diesen beiden Aufgaben genügt das Blut vor allem als Flüssigkeit, welche durch den Mechanismus des Herzens in beständiger Bewegung erhalten wird. Mit dem Herzen

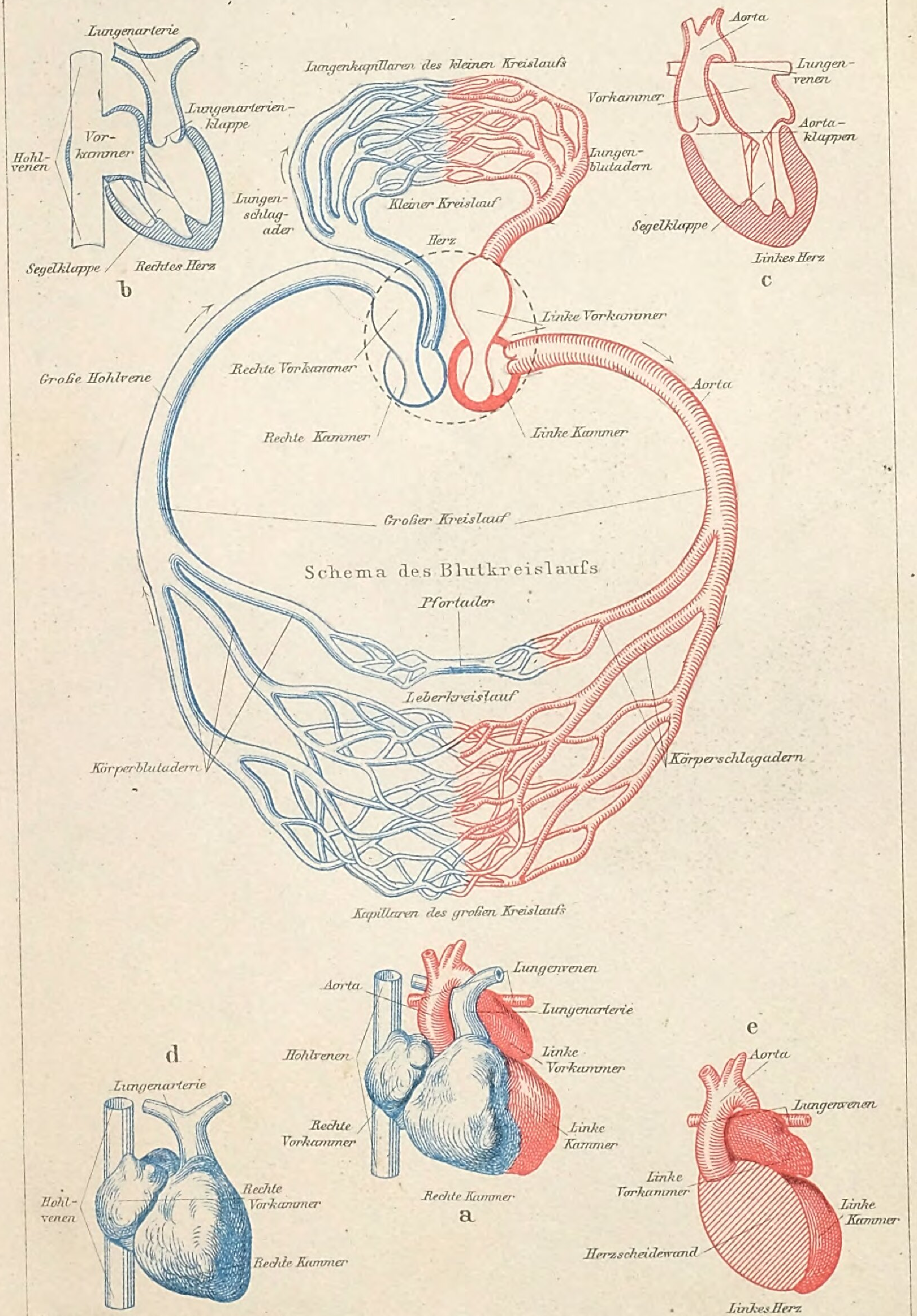
steht ein vielverzweigtes Röhrensystem in Verbindung, aus Schlagadern oder Arterien und Blutadern oder Venen bestehend, welche, von dem Herzen ausgehend und zu dem Herzen zurückkehrend, eine Art von Röhrenzirkel darstellen, in welchem Arterien und Venen durch ein Netz außerordentlich fein verzweigter Blutgefäßchen, die Haargefäße oder Kapillaren, zusammenhängen. Diese letzteren Gefäßchen sind es, deren für Flüssigkeit unter gewissen Bedingungen mehr oder weniger durchlässige Wandungen jenen Stoffverkehr zwischen Blut und Organ eintreten lassen, auf welchem die Stoffzufuhr und Stoffabfuhr durch das Blut im letzten Grunde beruht.



Kammer und Vorkammer des menschlichen Herzens.
a) Linke Vorkammer, b) linke Kammer, c) rechte Vorkammer, d) rechte Kammer.

Die glashellen Fischchen, welche wir oben als besonders günstige Beobachtungsobjekte erwähnten, zeigen uns bei vollkommenem Wohlbefinden das Herz mit seiner Blutbahn. In der Mitte der Blutbahn sehen wir das regelmäßig pulsierende Herz und die vom Herzen mit Blut gefüllten Blutgefäße. Wir sehen die Schlagadern, von einem rasch dahinschießenden Blutstrom gerötet, in zierlichster Weise sich in dem durchsichtigen Körper und seinen Organen verzweigen; an besonders durchsichtigen Stellen erkennen wir sogar die Auflösung der feinsten Blutgefäßästchen in zahllose haarfeine Blutkapillaren. Aus diesem zarten Maschennetze der Haargefäßchen gehen dann wieder neue weitere Blutgefäßchen hervor, die sich in ganz ähnlicher Weise, wie die Arterienverzweigung erfolgte, zu Stämmchen vereinigen, in welchen, wie in den Blutadern oder Venen, das dunkelrot gewordene Blut in langsamerem Strome zum Herzen zurückkehrt.

Der Blutkreislauf unter dem Mikroskop an durchsichtigen lebenden Fischchen ist gewiß eins der interessantesten und großartigsten Lebensphänomene, welche der direkten Betrachtung zugänglich sind. Der mikroskopische Einblick in den Blutlauf der Lungen und die Untersuchung der Blutbewegung in den durchsichtigen Schwimmhäuten an den Füßen von Fröschen und im Schwanze von Frosch- oder Salamanderlarven, welche ebenfalls gelingt, ohne Leben und Gesundheit der Tiere irgendwie zu beeinträchtigen, vervollständigen das Bild des normalen Gesamtblutkreislaufes. Aber auch an geschlachteten, namentlich kaltblütigen Tieren, wie Fischen, Fröschen &c., sehen wir noch einige Zeit nach dem Tode das Herz und die Blutgefäße reizbar, und jeder auf dem Markte am Fasttag geschlachtete Frosch gibt uns Gelegenheit, das Herz auch nach seiner vollkommenen Trennung aus dem Verbande des Organismus noch fast ungestört fortschlagen zu sehen. Wenn das ausgeschnittene Froschherz vertrocknet, stellt es seine pulsierenden Bewegungen ein; wir können aber bei geeigneten Vorkehrungen, namentlich durch Verhütung der Verdunstung, das ausgeschnittene Herz des Frosches leicht stunden-, ja einen Tag lang fortarbeiten lassen. Bei warmblütigen

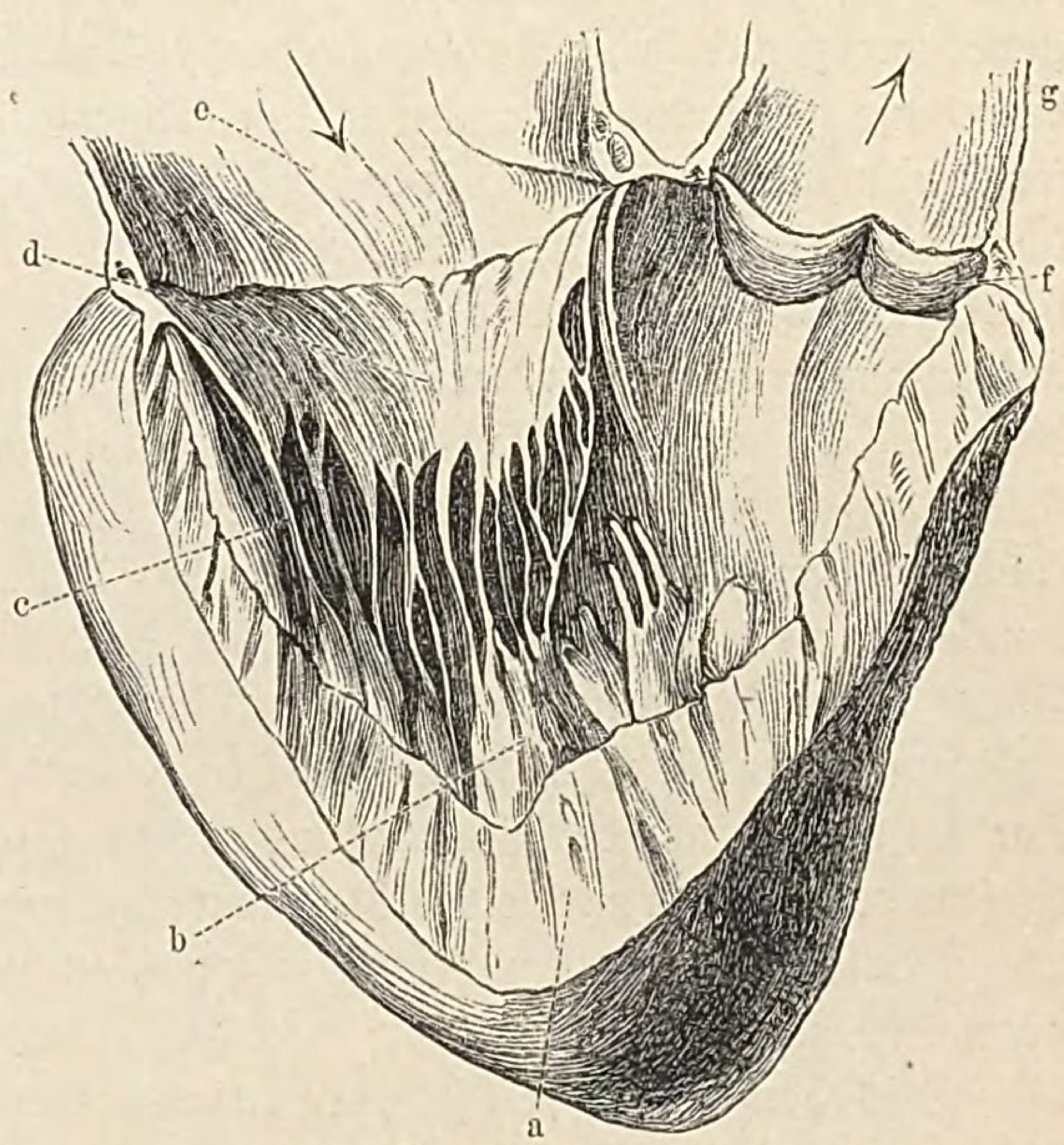


Schematische Darstellung des Blutkreislaufs und des Herzens.

a Schema des Herzens. b c Durchschnitte durch das Herz. d e Die beiden Herzhälften getrennt.

Tieren und bei dem Menschen ist diese unabhängige Selbstthätigkeit des Herzens nach dem Erlöschen des Gesamtlebens auf eine sehr kurze Zeitspanne beschränkt, weil das Aufhören der Bluterneuerung in der Atmung und der daraus sich ergebende Sauerstoffmangel des Blutes die rasche Abnahme der tierischen Wärme bedingen und das Herzleben wie das Einzelleben aller anderen Körperorgane rasch, scheinbar momentan, vernichten.

Da wir in der einleitenden Übersicht unseres Buches den Kreislauf des Blutes eingehend geschildert haben (S. 35), so genüge es, unter Verweisung auf jene Darlegung uns hier den Vorgang mit Hilfe der beigehefteten Tafel „Schematische Darstellung des Blutkreislaufes und des Herzens“, der Abbildung S. 202 sowie der untenstehenden Abbildung kurz in Erinnerung zu bringen. Das Zentralorgan der Blutbewegung, das Herz des Menschen, ist ein aus Fleisch bestehendes muskulöses Hohlorgan, ein Hohlmuskel, dessen Hohlraum im Inneren in vier Hauptabteilungen, zwei Herzkammern und zwei Herzvorkammern, zerfällt. Je zwei dieser Herzabteilungen, je eine Vorkammer und eine Herzkammer, münden direkt ineinander, werden aber von den beiden anderen durch eine vollkommene Scheidewand getrennt, wodurch das Herz in eine rechte und in eine linke Hälfte, in „das rechte“ und „das linke Herz“, zerfällt. Aus jeder der beiden Herzkammern geht eine große Schlagader hervor. Aus der linken Herzkammer entspringt die große Körperschlagader, die Aorta, welche das in den Lungen gereinigte Blut den Organen in zahlreichen Verästelungen zuströmen läßt. Die rechte Herzkammer entläßt die etwas weniger mächtige Lungenschlagader, die Pulmonalarterie, welche das aus den Organen venös, d. h. blaurot und sauerstoffarm, zurückkommende Blut zunächst in die Lungen einpumpt. In die beiden Vorkammern münden die großen Venen ein, in die rechte Vorkammer die beiden Hohlvenen, in welchen das Blut im „großen Kreislauf“ zu dem Herzen zurückströmt, in die linke die vier Lungenvenen, welche das in der Atmung hellrot gewordene Blut im „kleinen Kreislauf“ aus den Lungen in das linke Herz leiten.



Die linke Herzkammer, geöffnet.
a) Herzfleisch der Kammerwand, b) Papillarmuskeln, c) Sehnenfäden der Segelklappe d, e) Vorkammerwand, f) zwei Wagentaschenklappen der Aorta g. Die Pfeile bezeichnen die Richtungen des Blutlaufes.

Unser Herz arbeitet als ein doppeltes Pumpwerk, dessen beide Teile, das rechte und das linke Herz, zwar gleichzeitig bewegt werden, aber eine verschiedene Arbeit verrichten. Auf der Thätigkeit des linken Herzens beruht die Blutbewegung in dem ausgedehnten Gefäßnetz des großen oder Körperkreislaufes, während dem rechten Herzen die ziemlich viel geringere Arbeit zufällt, das Blut im kleinen Kreislauf, im Lungenkreislauf, umzutreiben. Alle normal stärker arbeitenden fleischigen, d. h. muskulösen Organe unseres Körpers sehen wir relativ stärker entwickelt als schwächer arbeitende. Die Verschiedenheit in der Wanddicke und der gesamten Massenentwickelung in den beiden Herzhälften entspricht diesem gesetzmäßigen Verhalten. Das linke Herz ist, seiner stärkeren Arbeitsleistung angepaßt, dickwandiger und massiger als das

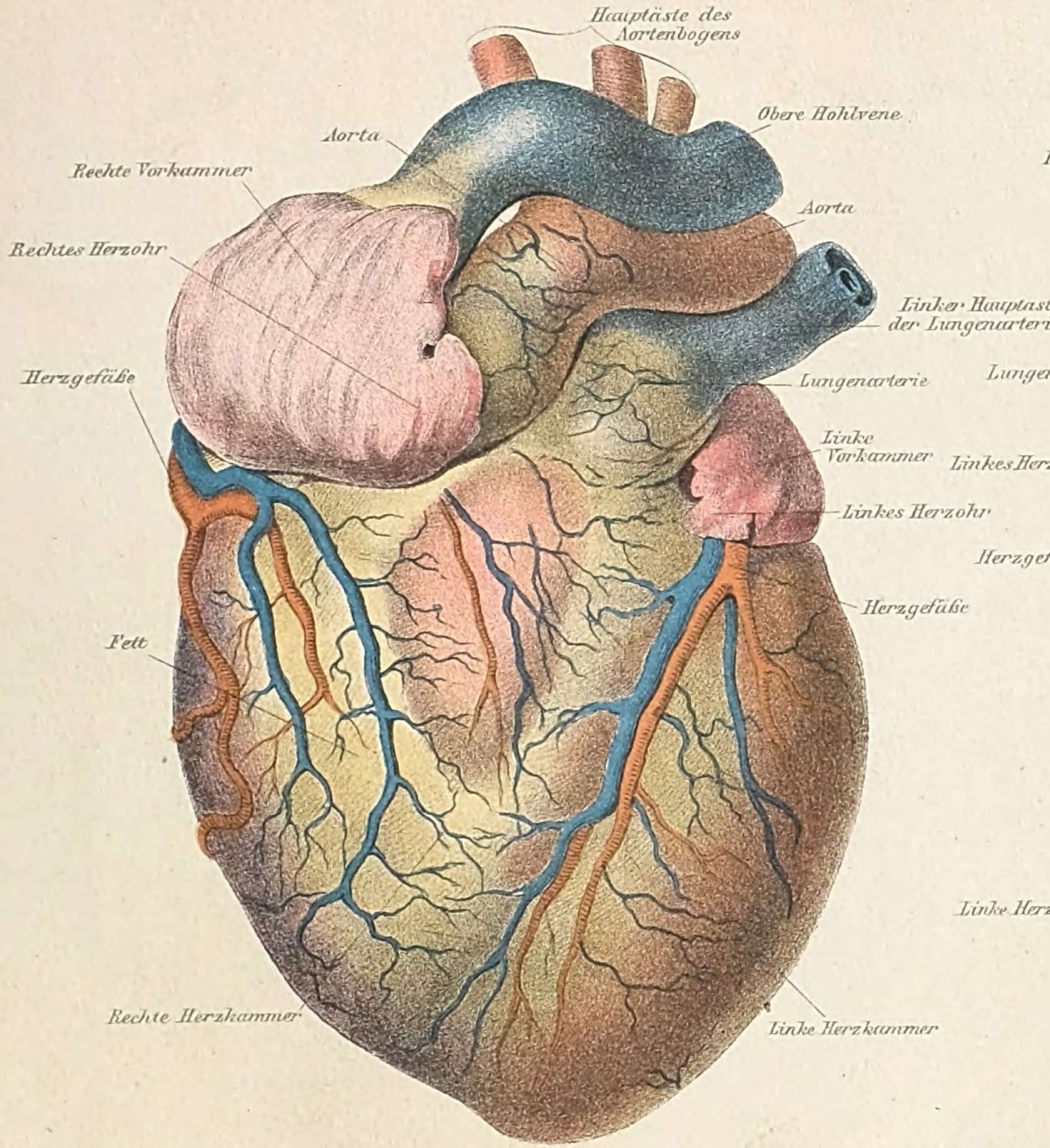
rechte, und dasselbe gilt von den beiden aus den Herzkammern entspringenden großen Schlagadern.

Die Wirkung der Doppelpumpe des Herzens ist aber auch noch insofern eine zweifache, als jede der beiden Herzhälften abwechselnd als Druckpumpe und Saugpumpe arbeitet. Einerseits drückt das Herz Blut in die Schlagadern, die Arterien, ein, anderseits saugt es sich nach seiner Entleerung wieder mit Blut aus den einmündenden Blutadern, den Venen, voll, um neues Material zur Überführung in die Schlagadern zu erhalten. Der Kreislauf beruht teils in dem Forttreiben des Blutes in den Schlagadern, teils in dem Ansaugen des Blutes aus den Venen. Für beide Akte fällt dem Herzen die Hauptaufgabe zu.

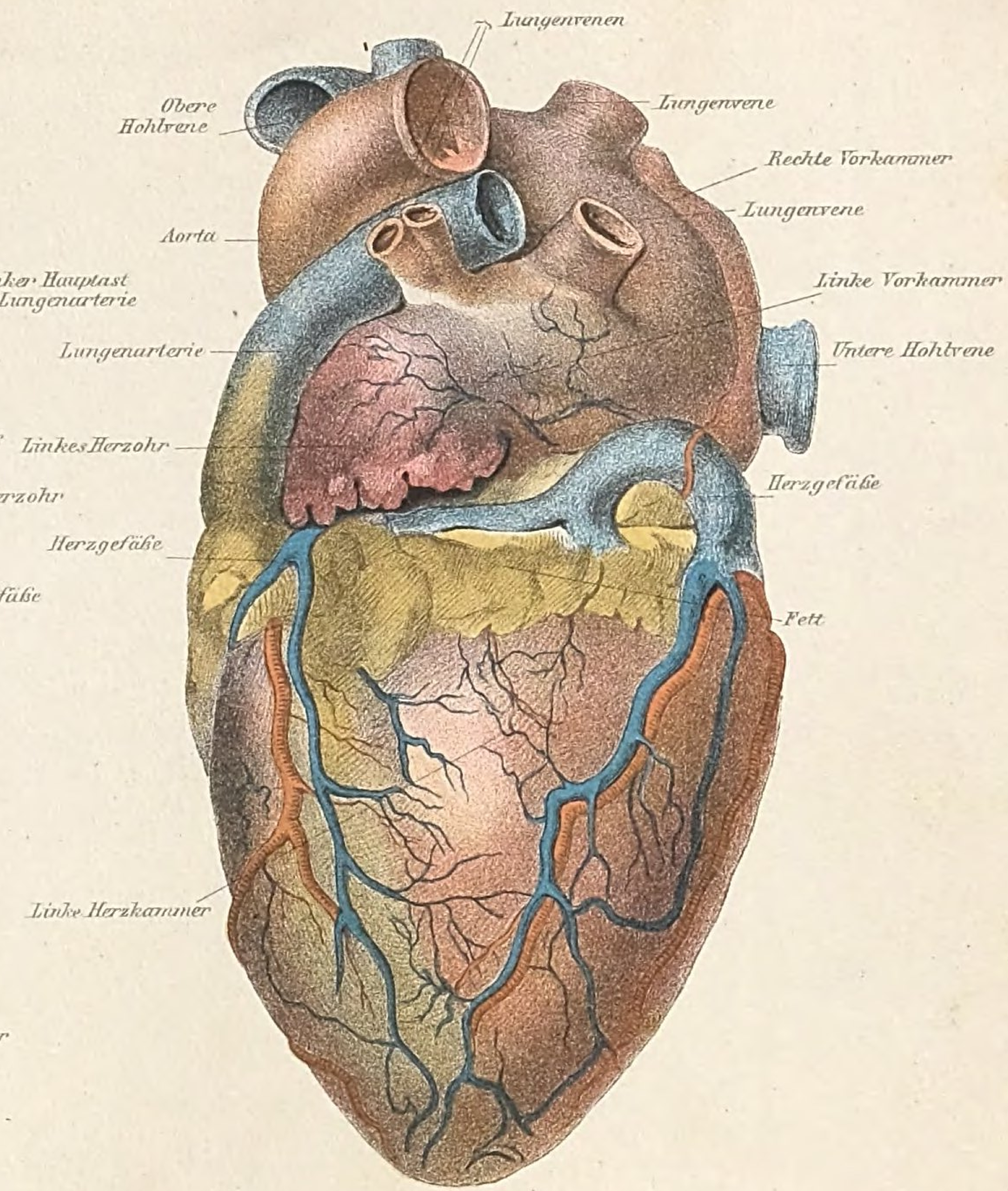
Das regelmäßige Arbeiten dieses komplizierten Pumpwerkes des Herzens, der regelmäßige Strom, welcher ohne Unterbrechung in gleichbleibender Richtung von dem Herzen ausgeht und in das Herz zurückkehrt, wäre ohne mechanische Unterstützung durch Klappen oder Ventile, welche den ebenso genannten Apparaten in den Röhrenleitungen der Mechanik in ihrer Wirkung entsprechen, unmöglich. Jede Störung der Ventilthätigkeit, z. B. infolge von organischen Erkrankungen der Herzklappen, ruft eine entsprechende Störung im Blutkreislauf hervor. Die vier häutigen Klappenventile des Herzens stehen an den Mündungsstellen der Vorkammern in die Kammern sowie an den Anfangsstücken der aus den Herzkammern entspringenden großen Arterien. Bei gesundem Verhalten gestatten sie die Blutbewegung nur im Sinne des Kreislaufes dadurch, daß sie sich jedem Rückwärtsströmen des Blutes vollkommen widersetzen. Auch in Blutgefäßen und zwar in zahlreichen Blutadern, Venen, finden sich ähnliche Klappenventile wie an den Mündungen der großen Schlagadern am Herzen, welche einen Rückfluß des Blutes in den Venen unmöglich machen, so daß das Blut in den Venen wegen dieser Klappeneinrichtungen nur in der Richtung zum Herzen strömen kann. Auch in den Lymphgefäßen, welche eine Art von Anhang des Venensystems darstellen, und deren flüssiger Inhalt, die Lymphe, vorwiegend von dem Herzen wie das Venenblut angesaugt wird, stehen zahlreiche solche Klappenventile wie in den Venen, mit der gleichen mechanischen Bedeutung für die Richtung des Flüssigkeitsstromes (s. Abbildung, S. 36).

Das Herz ist ein selbständig entwickelter Abschnitt des Blutgefäßsystems, und wie es sich in einer frühen Entstehungsperiode als ein röhrenförmiger, sich verästelnder Schlauch darstellt (vgl. die Tafel „Entwickelungsstadien des Menschenherzens"), so entspricht auch in vollkommen entwickeltem Zustand sein anatomischer Bau im allgemeinen noch immer dem der übrigen Blutgefäße (vgl. die Tafel „Gefäße und Muskelfaserverlauf des Herzens"). Wie bei allen bedeutenderen Röhrengebilden des animalen Organismus, so besteht auch die Wand der größeren Blutgefäße aus drei Hauptschichten, von denen die hauptsächlich aus Muskelfasern, d. h. aus Fleischfasern, gebildete Mittelschicht die mächtigste ist. Die Innenfläche der großen Blutgefäßröhren wird austapeziert von einem aus platten Zellen bestehenden Häutchen, das keinem Blutgefäß, auch nicht dem Herzen, fehlt. Dann folgt nach innen auf eine mehr oder weniger entwickelte bindegewebige Lage ein „elastisches" Häutchen. Sie zusammen werden als Innenhaut der Blutgefäße bezeichnet. Äußerlich werden die größeren Blutgefäßröhren von der äußeren Gefäßhaut, aus lockigem Bindegewebe mit elastischen Fasernetzen bestehend, überzogen. Namentlich an den Schlagadern sind die fleischigen Wandschichten stark entwickelt, und am Herzen überwiegt die Masse der Fleischfaser so bedeutend, daß sich uns das ganze Organ, wie gesagt, als ein Hohlmuskel präsentiert, obwohl es auch die häutigen Außen- und Innenschichten der großen Blutgefäße und zwar in relativ mächtiger Ausbildung besitzt.

Die Gestalt des ganzen Herzens ist unregelmäßig kegelförmig, der obere Teil ist breiter und dicker und wird als Herzbasis von der Herzspitze unterschieden (s. die beigeheftete Tafel



Vorderansicht

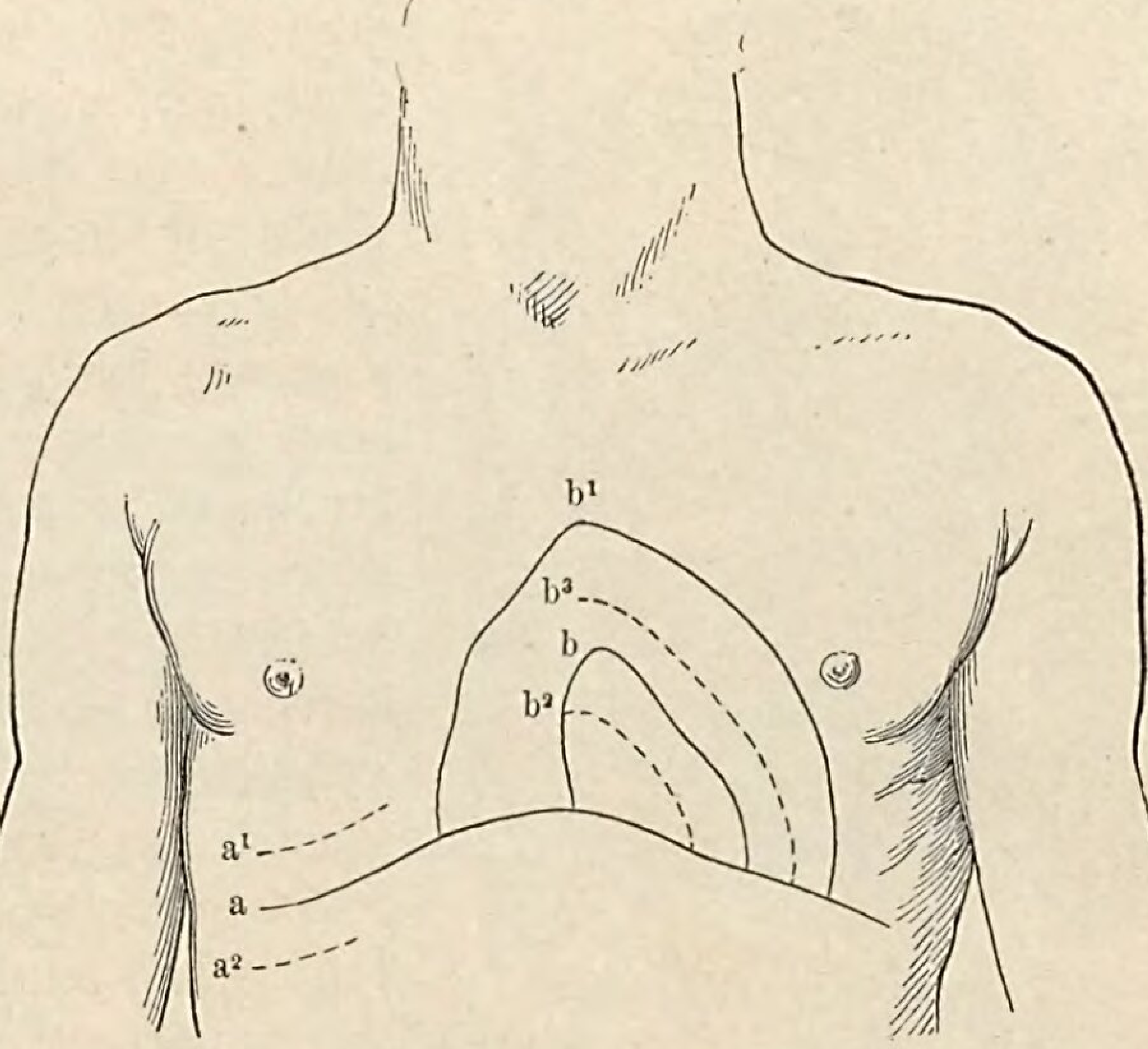


Linke Seitenansicht

DAS HERZ DES MENSCHEN.

„Das Herz des Menschen“). Über die Herzbasis erheben sich die großen Blutgefäßstämme, von welchen sich die Venen in die Herzbasis direkt einsenken. Die vordere, obere Herzfläche ist stark gewölbt, die untere dagegen flacher. Über beide Flächen läuft als äußere Andeutung der im Inneren des Herzens liegenden Scheidewand eine Längsfurche von der Herzspitze zur Basis. Senkrecht auf die Richtung der Längsfurche umzieht, der Basis näher als der Spitze, eine namentlich an der platten Herzfläche und den Rändern tiefe Kreisfurche das ganze Herz und deutet die Trennung des Herzens in den über der Furche gelegenen Vorkammerabschnitt und den unter derselben liegenden Kammerabschnitt an. In diesen beiden Furchen verlaufen die reichen Blutgefäße des Herzens, die Kranzschlagadern und Venen, deren Haargefäße in einem dichten Netze rechteckiger Maschen die Herzmuskelfasern umspinnen.

Die Gesamtgröße des Herzens und sein Gewicht sind, auch abgesehen von den Veränderungen der Größe und Form bei der Herzpulsation, ziemlich bedeutenden individuellen Schwankungen unterworfen. Das mittlere Gewicht des Menschenherzens beträgt etwa 300 g, es schwankt normal zwischen 210 und 450 g. Bei Frauen ist das Herz im Durchschnitt etwas kleiner als bei Männern; überhaupt hängt die Herzentwickelung auf das innigste mit der Gesamtentwickelung des Organismus und der Muskulatur zusammen.



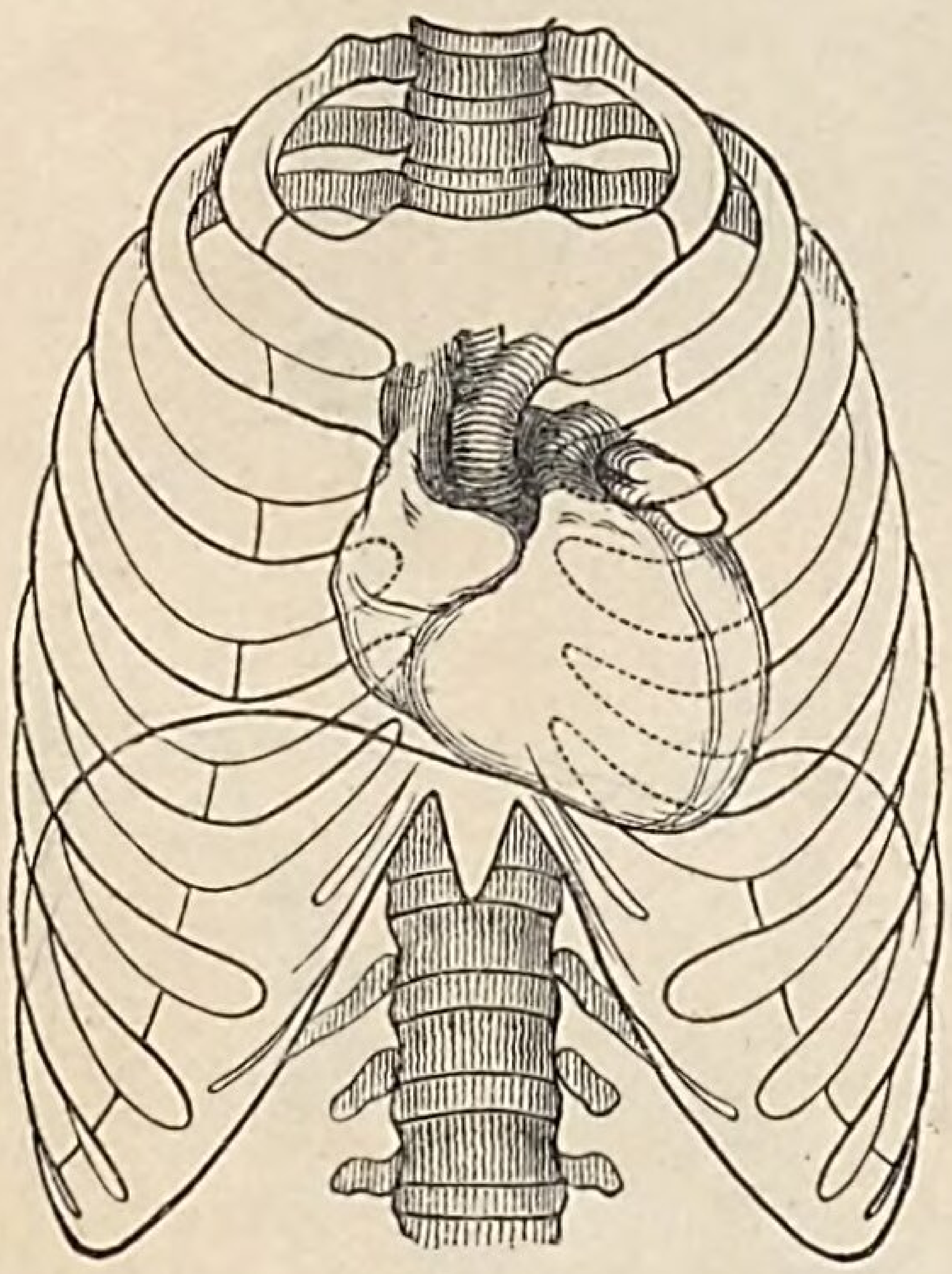
Topographie der Lungen- und Herzgrenzen bei der Atmung.
Stellung des Zwerchfells: a) bei ruhiger Atmung, a¹) bei tiefster Ausatmung, a²) bei tiefster Einatmung; b¹) Gesamtgröße des Herzens; b) Teil des Herzens, der bei ruhiger Atmung von den Lungen ungedeckt bleibt; b²) Teil des Herzens, der bei stärkster Einatmung, und b³), der bei stärkster Ausatmung ungedeckt bleibt.

Das Herz wird von einer eignen, vollkommen geschlossenen häutigen Hülle, dem Herzbeutel, sackartig umgeben und in seiner Lage befestigt. An dem Herzbeutel wird ein äußeres und ein inneres Blatt unterschieden, welche fest miteinander verwachsen sind. Das äußere Blatt hängt mit der äußeren Gefäßhaut der großen, aus dem Herzen entspringenden Blutgefäße direkt zusammen, verwächst gleichsam mit derselben, so daß die dem Herzen nächstgelegenen Abschnitte ebenfalls in der Herzbeutelhöhle stecken. Das innere Blatt des Herzbeutels schlägt sich an der genannten Verwachsungsstelle auf die großen Gefäße und von da auf das Herz herüber und umkleidet dasselbe als eine dünne, glatte, mit ihm verwachsene, durchsichtige Haut, unter welcher namentlich in den Längs- und Querrinnen und an der Spitze etwas Fett abgelagert ist. Die Höhle des Herzbeutels erscheint als ein mächtiger „Spaltraum“, welcher die äußere Herzhaut in zwei getrennte Lagen teilt, in deren Zwischenraum sich eine geringe Menge, kaum ein Löffel voll, lymphartiger Flüssigkeit, der Herzbeutelflüssigkeit, befindet. Durch sie wird die Herzoberfläche feucht und schlüpfrig erhalten und dadurch die Herzbewegung unterstützt.

Das Herz ist in der Mitte der Brusthöhle etwas nach links gelagert. Es wendet sich mit seiner Spitze nach links vorn und unten, mit der breiteren Basis nach rechts oben und hinten. Die Herzbasis liegt hinter dem Mittelstück des Brustbeines und den Knorpeln der vierten bis fünften rechten Rippe, die Herzspitze liegt gewöhnlich links zwischen den Knorpeln und Enden der

sechsten bis siebenten Rippe. Mit der platten Unterfläche liegt das Herz auf dem sehnigen Mittelstück des Zwerchfelles, durch dessen Atembewegungen es gehoben und gesenkt wird. Rechts und links und zum Teil auch vorn und hinten von dem Herzen liegen die Lungenflügel und decken dasselbe je nach ihrer Füllung mit Luft bei der Ein- und Ausatmung in verschiedener Ausdehnung. Über der Herzbasis befindet sich die Spaltungsstelle der Luftröhre.

Von den beiden Hauptabteilungen des Herzens, in welche dieses durch die Herzscheidewand vollständig getrennt wird, liegt die rechte, das rechte Herz oder Lungenherz, im Brustraum nach vorn, die linke Abteilung, das linke oder Aortenherz, dagegen nach hinten gewendet. Jede der beiden Herzabteilungen wird durch die mehrfach erwähnte unvollständige Querscheidewand in Vorkammer und Herzkammer geschieden; beide Hohlräume stehen durch eine weite, mit einem häutigen Klappenventil zu verschließende ovale Öffnung in Verbindung.

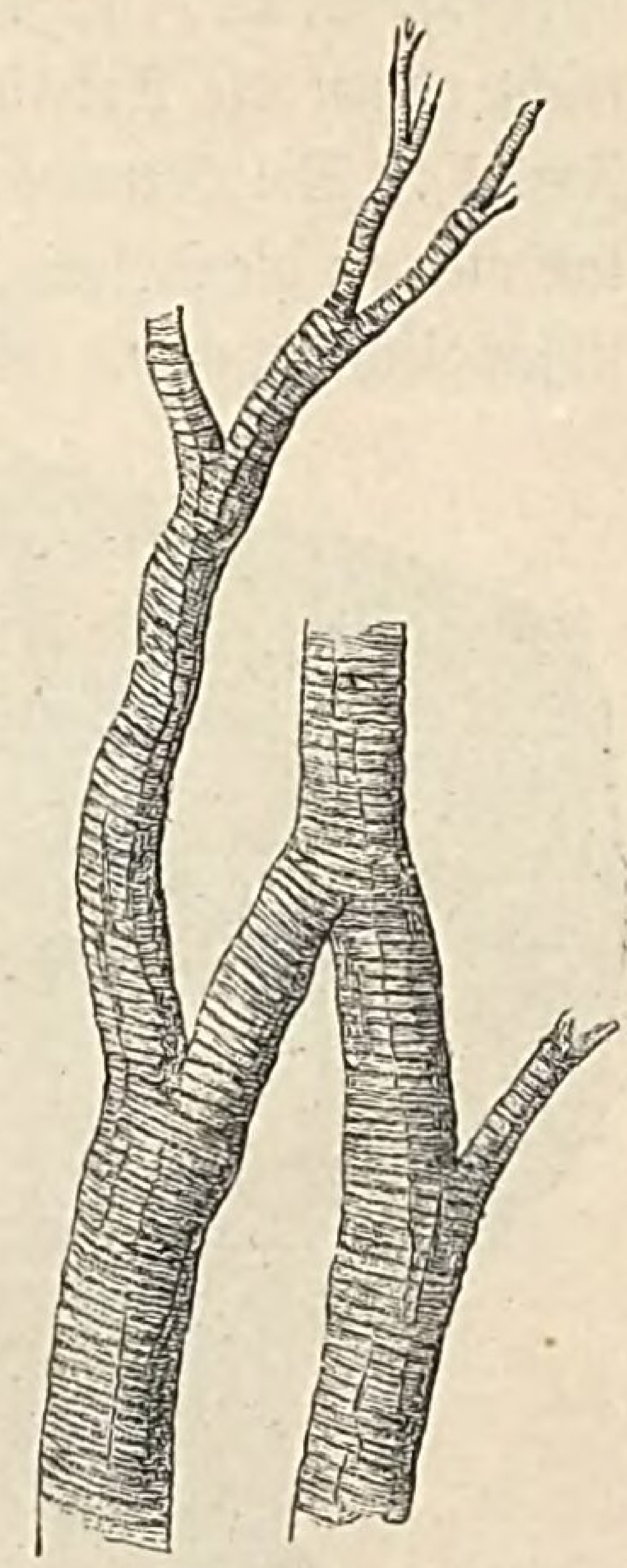


Normale Lage des Herzens.

Die Vorhöfe bilden den oberen, an der Herzbasis liegenden kleineren Abschnitt des Herzens über der Querrinne, in welcher die „Kranzgefäße des Herzens“ verlaufen. Jeder Vorhof besteht aus einem weiteren Schlauche oder Beutel, in den die großen Venenstämme einmünden, und aus einer engeren, zipfelförmig nach vorn gekrümmten Verlängerung, dem „Herzohr“. Die Vorhöfe unterscheiden sich durch ihre weniger dicken, mehr hautartig erscheinenden, an der Innenfläche durch vorspringende „Muskelbälkchen“ gezierten Wandungen von den dickeren, fleischigen Wänden der Herzkammern, von denen die des linken Herzens wieder ihrerseits die des rechten Herzens beträchtlich übertrifft. Diese Verschiedenheit der Dicke der Herzwandungen beruht, wie schon oben angedeutet, im wesentlichen auf einer verschieden mächtigen Ausbildung der Muskellagen. Das Herzfleisch besteht aus dunkelroten Fleischfasern, deren mikroskopische Elemente zu den „quergestreiften Fasern“ gehören, sich aber von den Skeletmuskeln durch ein häufigeres Vorkommen von Verästelung und netzartiger Verbindung unterscheiden (s. Abbildung, S. 207). Die gröberen Fleischfasern des Herzens verlaufen, zu platten oder rundlichen Bündeln vereinigt, teils mehr in der Längsrichtung von der Spitze gegen die Basis, teils mehr in der Querrichtung von der einen zur anderen Herzseite hinüber, immer aber mehr oder weniger gekrümmt und gewunden.

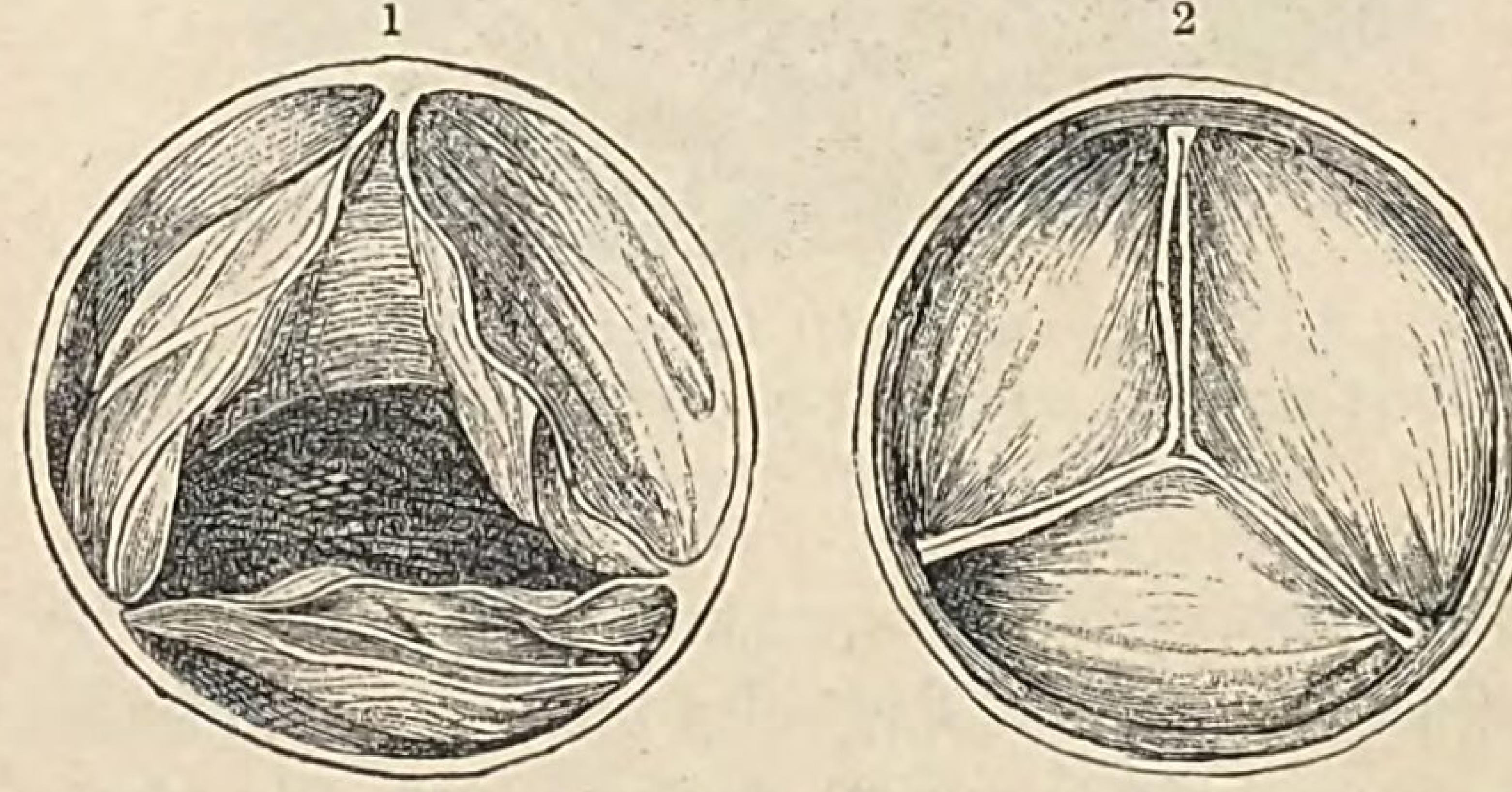
Auf dem Verlauf der Muskelfasern beruht die Möglichkeit der Herzbewegung, die in einem vollkommenen Zusammenziehen der Herzhohlräume besteht, wodurch alles in ihnen enthaltene Blut durch die gegebenen Öffnungen herausgepreßt wird. Die Zusammenziehung hat die Erschlaffung der Herzmuskelfasern zur Folge, auf welcher die Wiedererweiterung der Herzhohlräume beruht. Während der Erweiterung saugt sich das Herz auf den durch die Klappeneinrichtungen vorgeschriebenen Wegen wieder mit Blut voll. Das Verhältnis ist ganz ähnlich wie bei den bekannten Kautschuk-Spritzflaschen. Diese bestehen aus einem hohlen Kautschukball, in dessen Höhle eine Röhre luftdicht befestigt ist. Ist der Ball mit Wasser gefüllt, so können wir durch Zusammendrücken seiner Wände das Wasser herausspritzen; halten wir dann die Wände des Balles so lange zusammengepreßt, bis wir seine Mündungsröhre unter Wasser gebracht haben, so saugt er sich infolge seiner elastischen Ausdehnung voll Wasser, welches wir durch erneutes Zusammenpressen des Balles wieder entleeren können. Das Herz besorgt durch seine Muskelfasern das Zusammenpressen seiner Wandungen aktiv und spritzt dadurch das

in seinen Höhlungen befindliche Blut in die gegebenen Öffnungen. Die Wiederausdehnung des Herzens, auf welcher die Neufüllung mit Blut durch Ansaugen beruht, ist dagegen wie die des Kautschukballes ein passiver, auch bei dem Herzen, wenigstens zum Teil, durch die Elastizität der Wandungen hervorgerufener Vorgang. Die aktiv zusammengepreßten und verkürzten Muskelwandflächen des Herzens nehmen im Augenblick der eintretenden Ruhe ihre normale größere Flächenausdehnung und Länge wieder an. Den Anteil der Atembewegungen an der Wiederausdehnung des Herzens werden wir unten besprechen.



Quergestreifte Muskelfasern des Herzens.

Die Wandflächen des Herzens erhalten ihre Befähigung zu ihrer allseitigen Verkleinerung und damit zum Verkleinern und vollkommenen Zusammenpressen der von ihnen eingeschlossenen Hohlräume, wie gesagt, durch den eigentümlichen Verlauf der sie der Hauptmasse nach zusammensetzenden Muskelfasern. Die Muskulatur der Vorkammern ist von jener der Kammern vollkommen getrennt, während die Fasern von einer seitlichen Herzhälfte auf die andere, also von einer Vorkammer auf die andere und von einer Herzkammer auf die andere, übergehen. Beide Vorhöfe und beide Herzkammern arbeiten daher stets gleichzeitig, während Vorhöfe und Kammern sich unabhängig voneinander zusammenziehen können. Die Fleischbündel des Herzens bilden in ihrem Verlauf großenteils Schleifen, welche einen größeren oder kleineren Abschnitt des Herzens umgreifen, sich in ihren Richtungen auf das mannigfaltigste durchkreuzen und meist gleichzeitig mehr oder weniger um sich gedreht sind (s. die beigeheftete Tafel „Schema des Muskelfaserverlaufs des Herzens"). Indem sich diese Muskelschleifen durch ihre Zusammenziehung verkürzen, können sie den Hohlraum des Herzens verengern und verschließen. An der Innenfläche der Herzkammern springen warzenförmige Muskelerhöhungen aus der übrigen Fleischmasse hervor, welche als Papillar- oder Warzenmuskeln bezeichnet werden und speziell dem Herzklappenverschluß dienen (s. Abbildungen, S. 203 und 208).

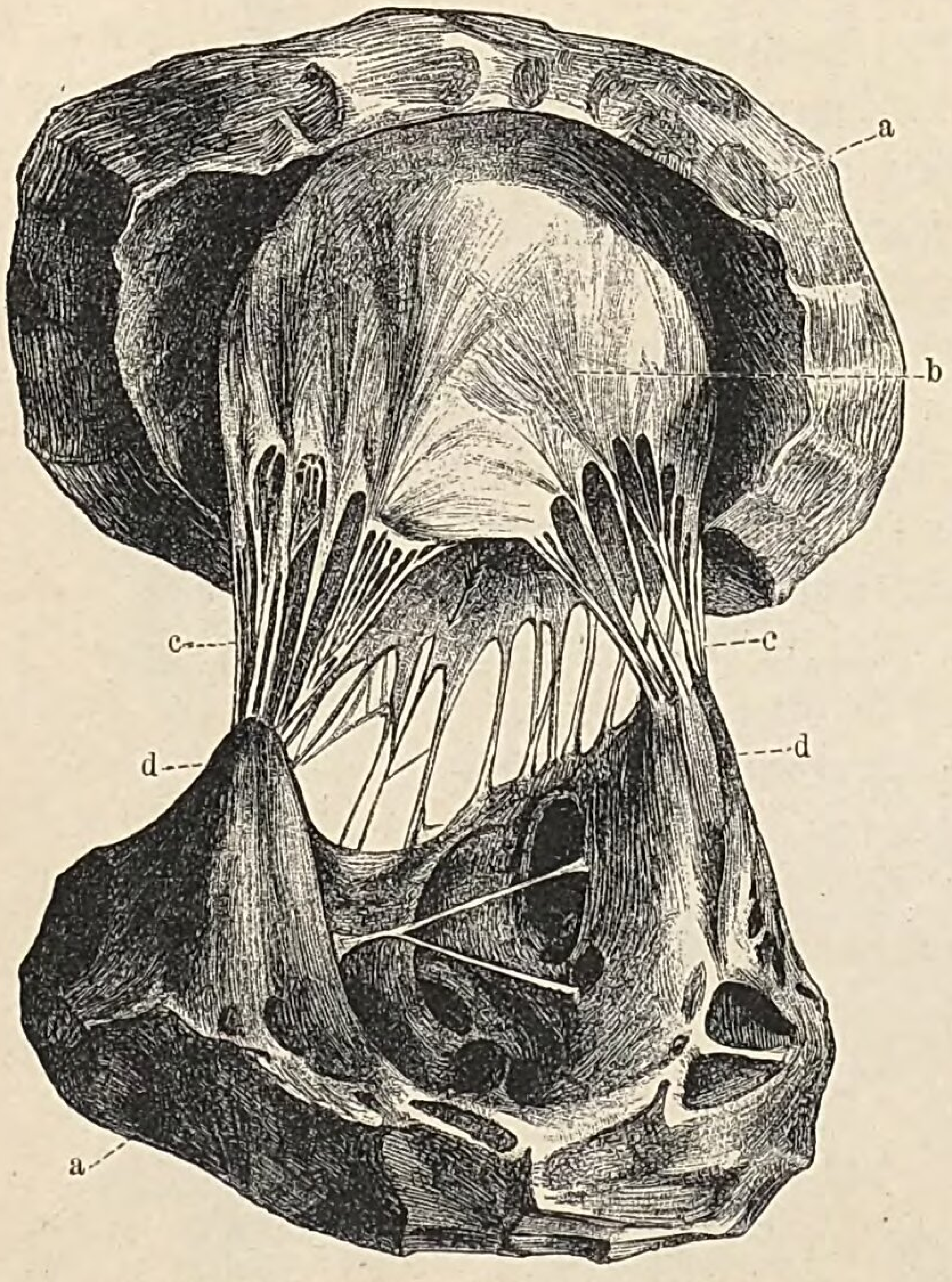


Die Taschenventile an der Aorta: 1) halb geöffnet, 2) geschlossen.

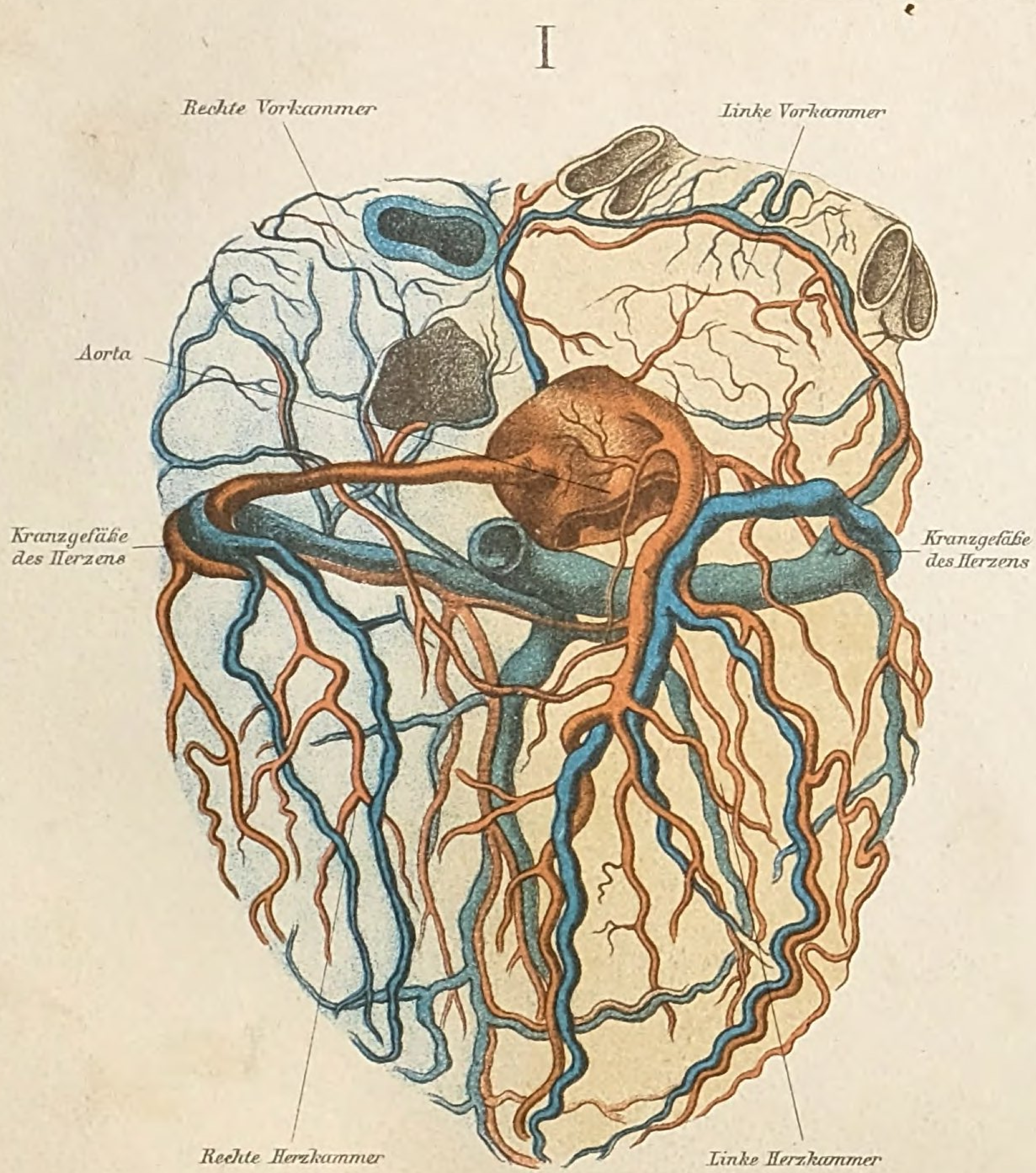
Der ganze vielgestaltige innere Hohlraum des Herzens wird von einer Innenhaut ausgekleidet, welche im wesentlichen der oben beschriebenen Innenhaut der Schlagadern entspricht und durch Faltenbildungen unter Hinzutritt besonderer bindegewebiger und elastischer Hautschichten, teilweise auch Muskelfasern, die häutigen Klappenventile des Herzens, die Herzklappen, bildet.

Die Herzklappen lassen in ihrem Bau zwei verschiedene Formtypen erkennen. Am einfachsten sind die Klappen gebaut, die als kleine „Fallthüren", wie sich die ältere Anatomie ausdrückte, den Eintritt des Blutes aus den Herzkammern in die Aorta und die Lungenschlagader regeln. Nach ihrer Gestalt bezeichnen wir sie als halbmondförmige Klappen oder Semilunarklappen (s. obige Abbildung). An der Mündung jeder der beiden großen Schlagadern aus dem Herzen stehen drei derartige halbmondförmige Klappen, welche einen geschlossenen Kranz um die Arterienmündung bilden. Sie erscheinen als bauchige, sich in der Richtung gegen die Arterie

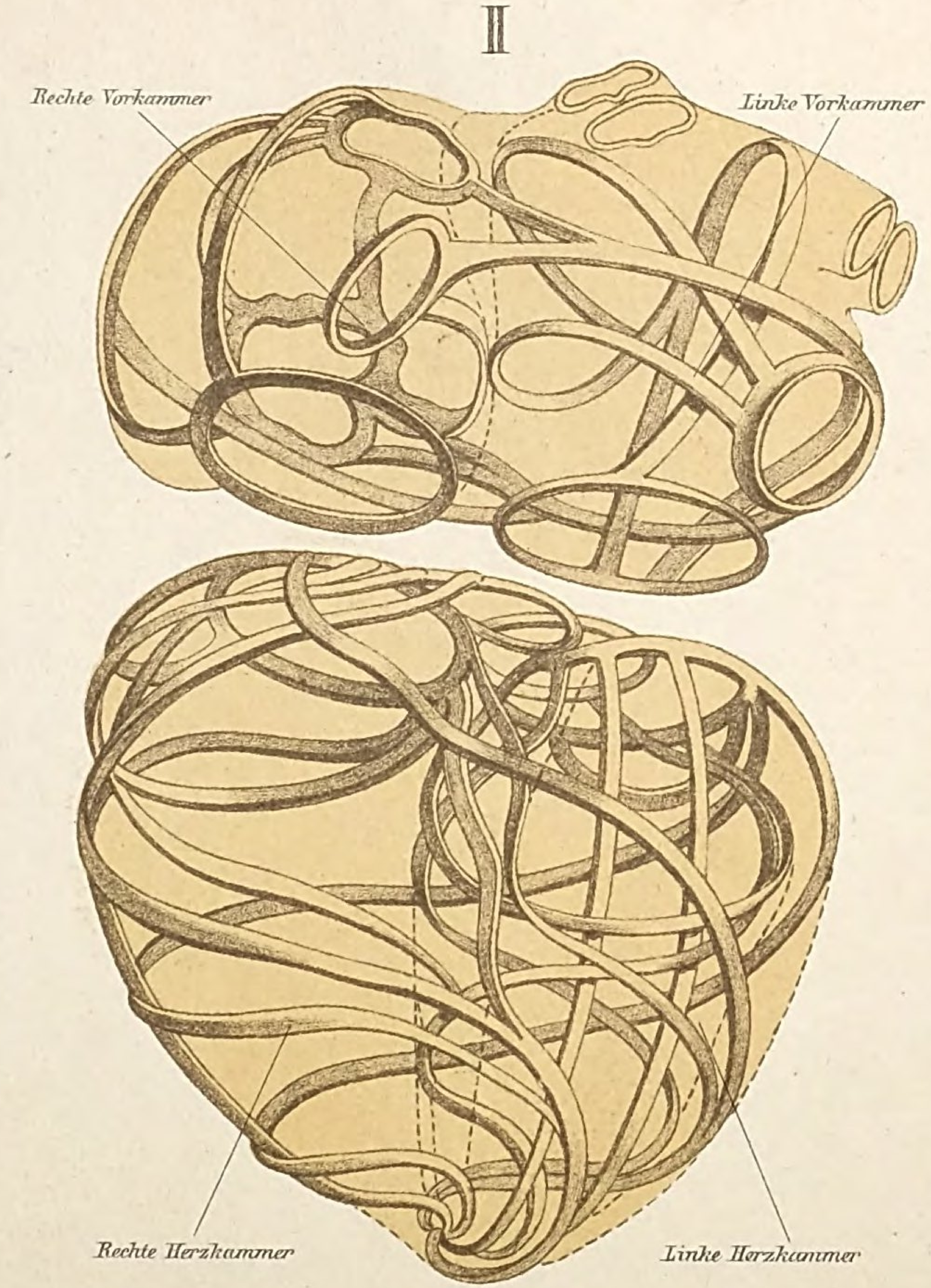
hin öffnende häutige Taschen, je mit einem angewachsenen konvexen und einem freien konkaven Rande. Sie berühren sich im ausgedehnten Zustand mit ihren freien Rändern so genau, daß sie den Zugang in der Richtung von der Arterie zur Herzkammer vollkommen verschließen (s. Abbildung, S. 207, Fig. 2). Dagegen preßt sie jeder von der Herzkammer herkommende Blutstrom leicht gegen die Arterienwand an und macht sich dadurch den Weg frei (s. Abbildung, S. 207, Fig. 1). Die Semilunarklappen gestatten also dem Blutstrom nur die Richtung aus der Herzkammer in die Arterie, während sie einen Rücktritt des Blutes aus der letzteren in die Herzhöhle unmöglich machen. Anders ist der Bau der Klappen zwischen Vorkammer und Kammer, der Segel- oder Zipfelklappen (s. nebenstehende Abbildung). Von der weiten, länglichrunden Öffnung aus, welche, von einem etwas wulstigen Rande umgeben, aus jeder Vorkammer in ihre Herzkammer führt, erstreckt sich ein im linken Herzen in zwei, im rechten in drei Endzipfel geteilter häutiger, in seinem oberen Abschnitt rings geschlossener Schlauch in die Kammer nach abwärts und befestigt seine freien Ränder durch zahlreiche feine, aber feste Sehnenfäden an die Warzen- oder Papillarmuskeln, welche wir an der Innenfläche der Herzkammer sich warzenartig erheben sehen. Ist das Herz mit Blut gefüllt, und zieht es sich nun zum Auspressen desselben zusammen, so werden die zackigen Ränder des Zipfelklappenschlauches augenblicklich so vollkommen aneinander gepreßt, daß kein Tropfen Blut rückwärts aus der Kammer in die Vorkammer gelangen kann; die Sehnenfäden verhindern dabei ein Umstülpen des Klappenschlauches in die Vorkammer, und die Papillarmuskeln festigen durch Anspannen und gegenseitige Annäherung der Klappenzipfel diesen ebenso einfachen wie sinnreichen Ventilverschluß. Dehnt sich die Herzhöhle wieder aus, so öffnet sich mit dem Nachlassen des auf ihm lastenden Druckes der Klappenschlauch, und das Blut kann nun wieder vom Vorhof ungehindert in die Kammer gelangen. Die Klappen zwischen Vorkammern und Kammern gestatten sonach dem Blute lediglich den Weg aus dem Vorhof in die Herzkammer, während sie sofort als „Fallthüren" die Öffnungen schließen, wenn der Blutstrom in der umgekehrten Richtung sich zu bewegen versucht. Im erschlafften, erweiterten Zustand, in welchem sich die Herzkammer mit Blut vollsaugt, steht ihr hierzu nur der Weg aus der Vorkammer offen, während die Arterienmündungen durch das Zuschlagen der halbmondförmigen Klappen verschlossen sind. Zieht sich dagegen die Herzkammer zum Auspressen des Blutes zusammen, so fällt das Ventil zu, welches an der Öffnung in die Vorkammer ansitzt; dagegen öffnet der gepreßte Blutstrom die Arterienventile und damit den ungehinderten Zutritt zu den Arterien (s. die untere Abbildung, S. 207). Gleichzeitig sind also im lebenden Herzen die vier Klappen niemals geschlossen.



Die Segel- oder Zipfelklappen des Herzens.
a) Herzkammerwand, b) Segelklappe, c) Sehnenfäden, d) Papillarmuskeln.



I. Die Herz-Blutgefäße.



II. Schema des Muskelfaserverlaufs des Herzens.

In den Vorhöfen sind ähnliche Verschlußeinrichtungen vorhanden. Erweitert sich der Vorhof durch Erschlaffen seiner Wände, so saugt er Blut lediglich aus den Venen ein, während die Klappe zwischen Vorhof und Kammer geschlossen ist. Verengert sich aber der Vorhof durch Zusammenziehung, so verschließt er durch die Kontraktion seiner ringförmig die Venenmündungen umgreifenden Muskelfasern den Eingang von der Vorkammer in die Venen und preßt das während der Erschlaffung angesaugte Blut in seine Herzkammer durch das geöffnete Vorkammerklappenventil, die Zipfelklappe, ein (vgl. S. 208).

Die Herzbewegungen.

Wir sahen das Herz des durchsichtigen Fischchens während des Lebens in fast unausgesetzter rhythmischer Bewegung. Es ziehen sich seine Vorhöfe und Kammern in abwechselndem Rhythmus zusammen, erschlaffen und erweitern sich wieder. Dieser gesamte Vorgang ist der Herzpuls oder die Herzpulsation, die Zusammenziehung des Herzens wird als „Systole“, die Erweiterung als „Diastole“ bezeichnet. Das Herz des erwachsenen Menschen pulsiert oder schlägt etwa siebzigmal in der Minute.

Aus der oben beschriebenen anatomischen Verbindung der Herzmuskelfasern (vgl. S. 207 und die Tafel „Schema des Muskelfaserverlaufs des Herzens“) folgt es, daß die beiden Vorkammern ebenso wie die beiden Herzkammern immer gemeinschaftlich, gleichzeitig, arbeiten. Zwischen je zwei Herzpulsen tritt eine kleine Pause ein, in welcher das ganze Herz ruht. In dieser auf jede Kammerzusammenziehung folgenden Pause sind sowohl Vorhöfe als Kammern erweitert und haben sich vollkommen mit Blut vollgesaugt. Auf die Pause folgt zunächst eine Zusammenziehung der Vorkammern, dann eine etwas länger dauernde Zusammenziehung der Kammern und auf diese wieder die kurze Gesamtruhe. Bei gesundheitsgemäßer Häufigkeit der Herzpulse nimmt die Zusammenziehung der Kammern etwa zwei Fünftel, die Erweiterung drei Fünftel der Zeit in Anspruch, in welcher ein Herzpuls abläuft.

Auf der Erweiterung des Herzens beruht die Wirkung, welche das Herz als Saugpumpe ausübt. Die Erweiterung erfolgt, wie wir hörten, teils durch die Elastizität des Herzens, unterstützt durch das nach der Zusammenziehung wieder reichlicher in die inneren Herzgefäße einströmende Blut, teils aber auch durch eine physiologische Einrichtung, welche für die gesamte Zirkulation des Blutes und der Lymphe von höchster Bedeutung ist: durch den Saugdruck, welchen die Lungen in dem Brustraum des unversehrten Organismus beständig ausüben.

Die Lungen sind in den Brustraum luftdicht so eingefügt, daß sie auch bei der Ausatmungsstellung des Brustkorbes etwas über ihre natürliche Größe, ihr Volumen, ausgedehnt sind. Wird die Brusthöhle etwa durch den Stich einer Waffe am lebenden oder toten Menschen geöffnet, so daß der äußere Luftdruck auf die Lunge einwirken kann, so sinkt die Lunge sofort auf ihr verhältnismäßig kleines normales Volumen zusammen. Diesen zusammengesunkenen Zustand der Lungen nach dem Öffnen des Brustraumes stellt die weiter unten gegebene Abbildung der Lage des Herzens im Brustraum dar, während die Abbildung auf S. 41 die Vorderansicht der Brust- und Baucheingeweide, die normale Ausdehnung der Lungen im geschlossenen Brustraum zeigt. Solange die Lungenflügel im Brustraum ausgedehnt sind, sind sie auch vermöge ihrer hohen Elastizität beständig bestrebt, sich auf ein kleineres Volumen zusammenzuziehen. Dadurch üben sie fortgesetzt auf alle in der Brusthöhle liegenden und diese umgrenzenden Organe einen Saugdruck (negativen Druck) aus, durch welchen die betreffenden Organe in den Raum hineingezogen werden, welcher von den elastisch ausgedehnten, sich zu verkleinern strebenden Lungen eingenommen ist.

Aus diesem Grunde sehen wir an sehr mageren Personen die Zwischenräume zwischen den Rippen an der Brustoberfläche bei jeder Einatmung, wobei die Lungen noch mehr ausgedehnt werden, stärker einsinken. In derselben Weise üben die Lungen normal beständig eine ausdehnende Wirkung auf das Herz aus, noch stärker in der Einatmung als in der Ausatmung, und beteiligen sich damit an der Erweiterung des Herzens in dessen erschlafftem Zustande.

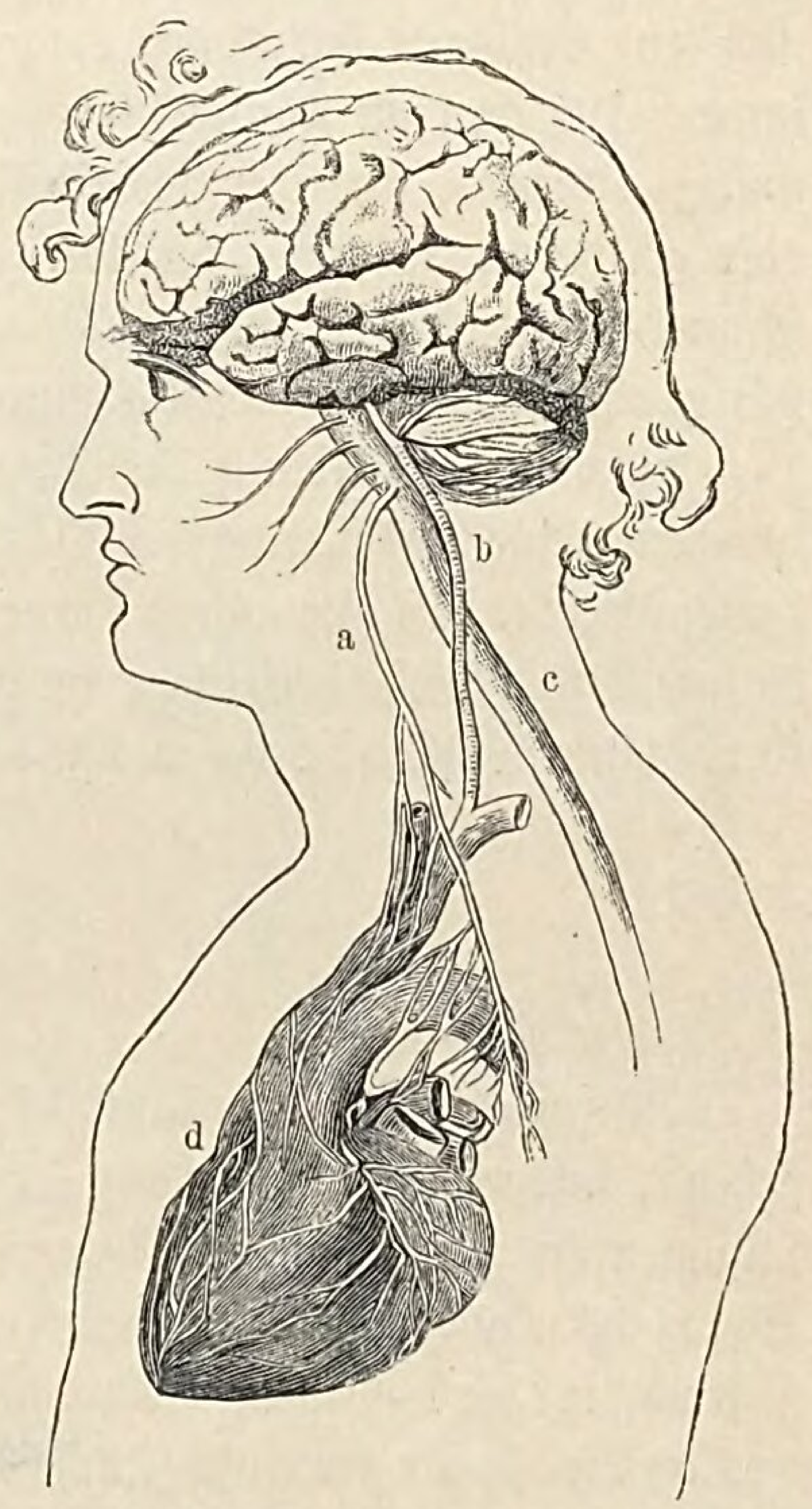
Die Herzpulsation ist mit Formänderungen des ganzen Herzens verbunden. Alle Muskeln werden bei ihrer physiologischen Zusammenziehung kürzer und dicker, ebenso das Herz in seiner Gesamtheit. Außerdem wendet sich bei jeder Zusammenziehung die Herzbasis etwas nach abwärts, während die Herzspitze etwas nach vorwärts gerückt und gehoben wird, indem sich das Herz um eine durch die Kammerbasis gehende ideale Querachsenlinie dreht. Dieses „Aufrichten der Herzspitze" infolge der Herzkontraktion bewirkt den bei den meisten Menschen zwischen der fünften und sechsten Rippe zu fühlenden Herzschlag oder Herzstoß, der bei mageren Personen und bei krankhaft verstärkter Herzthätigkeit den Rippenzwischenraum, an welchem die Herzspitze anliegt, sichtbar in die Höhe wölbt. Am stärksten ist der Herzstoß zu bemerken während der Ausatmung. Bei sehr tiefer Einatmung werden die Lungen so stark ausgedehnt, daß sich die Lungenränder über das Herz legen und seine Bewegungen dadurch verdecken (s. Abbildung, S. 205).

Der Verschluß der Herzklappen bei der Zusammenziehung und Ausdehnung des Herzens geschieht so rasch und mit solcher Energie, daß in den angespannten Klappenhäuten dadurch musikalisch tönende Schwingungen hervorgerufen werden. Man bekommt diese Herztöne zu hören, wenn man das Ohr in der Herzgegend an die Brustwand anlegt. Der erste Herzton entspricht der Zusammenziehung, der Systole des Herzens, und hält so lange an wie diese; der zweite Herzton entspricht der Ausdehnung des Herzens, der Diastole. Zweifellos entsteht der diastolische Herzton durch den plötzlichen klappenden Verschluß der halbmondförmigen Herzklappen der beiden großen vom Herzen entspringenden Arterien. Der systolische Herzton wird am deutlichsten an der Stelle des Herzstoßes gehört, er ist mehr dumpf und andauernd, während der diastolische Herzton, den man am deutlichsten rechts und links vom Brustraum, im dritten Rippenzwischenraum, hört, kurz klappend und hell eine kleine Terz oder Quart höher ist. An der Erzeugung des systolischen Tones beteiligt sich neben dem musikalischen Erzittern der während ihres Verschlusses stark gespannten Vorhofkammerklappen auch die Kontraktion des Herzmuskels, welche, wie jede andauernde Muskelzusammenziehung, einen schwachen, dumpfen Ton, den Muskelton, hervorruft.

Das Anstoßen des Herzens an der Brustwand, der Herzstoß, noch mehr die Herztöne sind für den untersuchenden Arzt, namentlich für die Erkennung von Herzkrankheiten, von der allereinschneidendsten Bedeutung. Die Herztöne ändern sich, wenn eine der Herzklappen irgend eine Form- oder Elastizitätsveränderung erfährt, wie solche im Gefolge von Herzerkrankungen so häufig eintreten. Die Herztöne verlieren dann ihre musikalische Bestimmbarkeit und werden zu blasenden, schnarrenden, kratzenden Geräuschen. Die Veränderung des ersten Herztones ist an eine Erkrankung der Vorhofkammerklappen, des zweiten an eine Erkrankung der Arterienklappen geknüpft. Es ist möglich, durch rechts- oder linksseitiges Behorchen der Brustwand noch näher zu bestimmen, ob der Ort der Erkrankung dem rechten oder linken Herzen angehört. Eine einfache Betrachtung des staunenswerten Mechanismus der Herzpumpe läßt uns ahnen, wie bedeutend auch schon kleine Fehler in den Ventilverschlüssen den regelmäßigen Verlauf der Blutbewegung und damit alle Organthätigkeiten beeinträchtigen müssen.

Wir haben die hohe Unabhängigkeit der Herzbewegungen von dem Zusammenhang mit dem Gesamtkörper hervorgehoben, und doch unterliegt es keinem Zweifel, daß alle normalen Muskelbewegungen, zu denen ja auch das rhythmische Zusammenziehen und Wiederausdehnen des Herzens

gehört, durch Antriebe von seiten des Nervensystems veranlaßt werden. Da das Herz nach der vollkommenen Trennung aus dem Organismus, nach dem Ausschneiden aus der Brusthöhle der geschlachteten Tiere, also nach der Lösung aller Verbindungen mit den Zentralorganen des Nervensystems, namentlich lange bei den kaltblütigen Tieren, seine rhythmische Thätigkeit noch fortsetzt, so werden wir zu der Annahme gedrängt, daß das Herz die nervösen Zentren seiner Bewegung in sich selbst trage; es scheint das Herz, wie ein selbständiges animales Wesen, ein eignes Zentralorgan der nervösen Thätigkeit, gleichsam ein eignes Gehirn-Rückenmark, zu besitzen. Und wirklich wurden in der Scheidewand der Vorhöfe, an der Grenze zwischen Kammern und Vorhöfen, in der Hinterwand der Kammern und an der Mündungsstelle der Hohlvenen in den rechten Vorhof mikroskopische Knötchen aus grauer und weißer Nervensubstanz, Ganglien, mit zahlreichen Nervenzellen aufgefunden. Diese dem sympathischen Nervensystem zugehörenden nervösen Herzganglien stehen nicht nur untereinander durch Nervenfasergeflechte in Verbindung, sondern senden auch ihre Nervenfasern in die Herzmuskulatur. Die Herzganglien sind die eigentlichen nervösen Bewegungszentren des Herzens, auf deren Anreizung der normale rhythmische Ablauf der Herzpulsationen beruht. Während des ungestörten Lebens steht dem Zentralnervensystem, dem Gehirn und Rückenmark, lediglich ein die Herzbewegung nach Stärke und Geschwindigkeit regelnder Einfluß zu. Der Nerv, welcher als hauptsächlichster „regulatorischer Nerv" auf die Herzbewegung wirkt, ist der zu den zwölf Gehirnnervenpaaren zählende „herumschweifende" Nerv, der Nervus vagus, welchen die älteren Anatomen, ehe seine Einwirkung auch auf das Herz bekannt geworden war, als Lungen-Magennerven bezeichneten. Eine stärkere Erregung des Vagus hat eine Verlangsamung der Herzbewegung, in extremen Fällen sogar ein zeitweiliges Stillstehen des Herzens im ausgedehnten Zustand, in der Diastole, zur Folge. Andere Nervenfasern, welche in den Bahnen des Grenzstranges des sympathischen Nervensystems verlaufen, aber vom Rückenmark und Gehirn abstammen, beschleunigen dagegen durch ihre stärkere Erregung die Herzbewegung. Der regulatorische Einfluß, welcher von dem Zentralnervensystem auf die Herzbewegung ausgeübt werden kann, besteht also einerseits in einer hemmenden Wirkung, ausgeübt durch den Vagus, den Hemmungsnerven des Herzens, und anderseits in einer beschleunigenden Wirkung, welche vorwiegend durch Vermittelung des sympathischen Grenzstranges, in welchen vom Gehirn-Rückenmark aus beschleunigende Nervenfasern für die Herzbewegung eintreten, stattfinden kann.



Verlauf des Nervus vagus zum Herzen.
a) Nervus vagus, b) Arteria carotis, c) Rückenmark, d) Herz.

Jede stärkere körperliche Anstrengung, welche dem Herzen die Arbeit erschwert, steigert demzufolge die Herzthätigkeit so bedeutend, daß unser Bewußtsein davon Notiz nehmen muß. Gesundheit und krankhafte Körperzustände spiegeln sich in Veränderungen der Herzaktion wider. Unsere psychische Stimmung kann sich nicht verändern, wir können nicht aus normalem Wohlbehagen zu Freude oder Schmerz übergehen, ohne daß das Herz an diesen Veränderungen Anteil nimmt, schneller oder langsamer schlägt. Es gibt kein feineres Reagens als das Herz auf Sonnenschein

oder Regen, auf Vogelsang oder Blumenduft. Allen Erregungen, welche durch die Sinne auf uns wirken oder in der Veränderung der Thätigkeiten unserer inneren Organe bestehen, antwortet das Herz durch schnelleres oder langsameres Schlagen. Dabei ist das Herz das einzige innere Organ, dessen veränderte Thätigkeit wir auch im gesunden Zustande fühlen, und es kommt uns dabei zum Bewußtsein, in wie hohem Grade unser Wohlbefinden den Schwankungen der Herzthätigkeit entspricht. Ist es da zu verwundern, daß das gesamte Altertum im Herzen das wahre Zentralorgan der Empfindung erkennen wollte, und daß sich diese Lehre noch heute bei allen Dichtern und Liebenden in Geltung behauptet?

Die Verbindung des Herzens mit den regulatorischen Nerven macht es möglich, daß von dem Gehirn und Rückenmark aus jede veränderte Nervenstimmung sich auf das Herz überträgt und sein Schlagen beeinflußt, mag diese Veränderung der Nervenstimmung von äußeren oder inneren Ursachen im Körper hervorgerufen sein. Jede Abweichung von der normalen Wärme unseres Körpers, jede chemische Differenz in der Mischung der Lebenssäfte, namentlich größerer oder geringerer Reichtum derselben an Sauerstoff, jede Reizung der Eingeweide, der höheren Sinnesorgane oder der äußeren Haut verändern den Herzschlag, den sie langsamer oder rascher, stärker oder schwächer machen können. Ganz ähnlich verhalten sich aber dieselben Reize auch in Beziehung auf den Ablauf der Atembewegungen, und es fehlt uns nur bis jetzt noch die entsprechend feine Ausbildung der Beobachtungsmethoden, um es ebenso deutlich im einzelnen zu demonstrieren, daß alle unsere Körperorgane denselben schwankenden Einflüssen gegenüber sich in entsprechender Weise verhalten; im allgemeinen fühlt jeder die allseitige Erhöhung des gesamten körperlichen Wohlbefindens infolge angenehmer Nervenreize der verschiedensten Art.

Die Schlagadern.

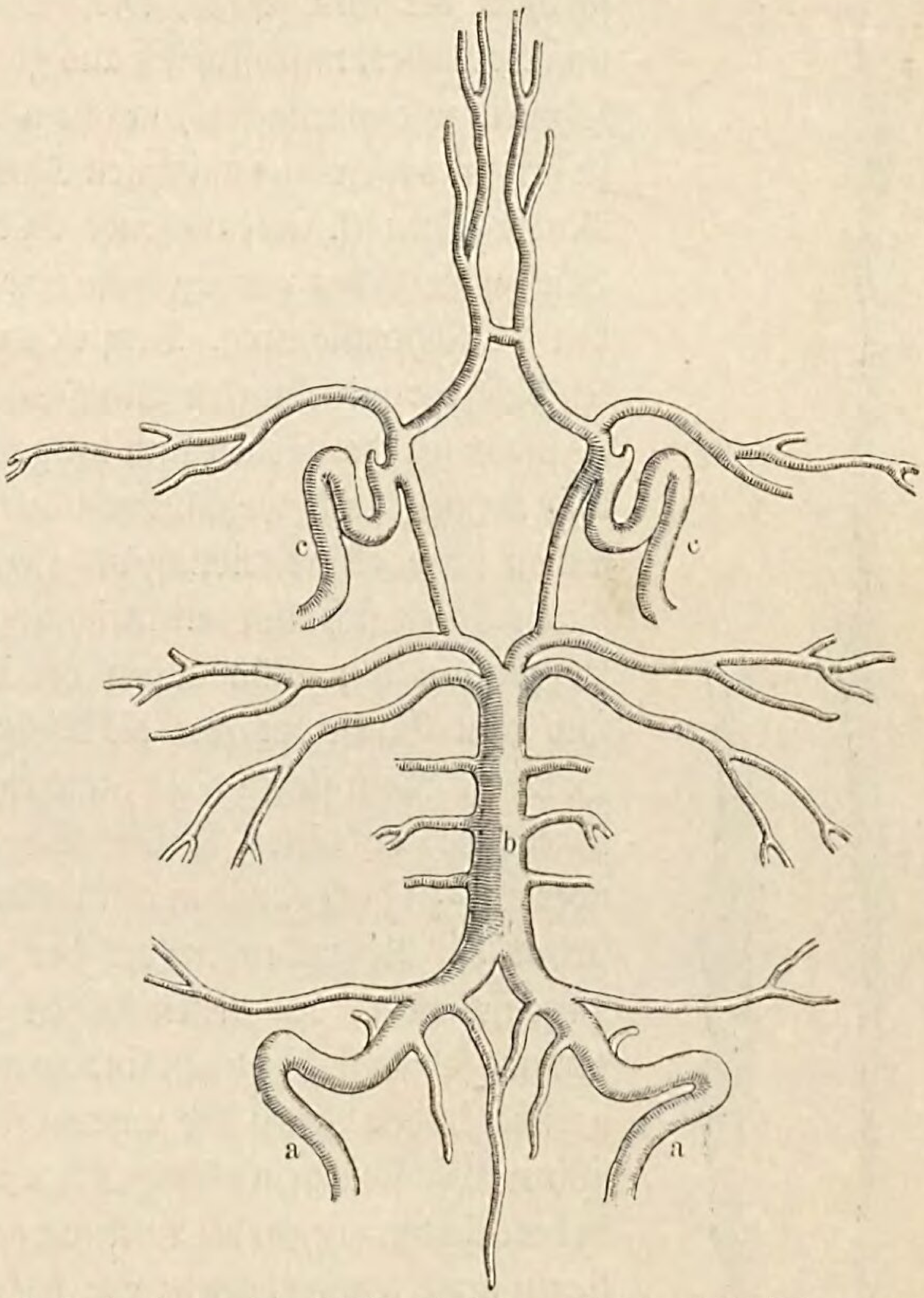
Blicken wir auf den Blutlauf, welcher in den Schlagadern (Arterien), vom Herzen ausgehend, in der Richtung zu den Organen erfolgt, in den Blutadern (Venen) dagegen, von den Organen ausgehend, in der Richtung dem Herzen zugekehrt ist, so scheint uns der Anfang der Schlagadern im Herzen, der Anfang der Blutadern dagegen in den Organen zu liegen. Bei der Betrachtung der allgemeinen Anordnung der Blutgefäße in Beziehung zum Herzen stellt sich aber dies letztere als der gemeinschaftliche Mittelpunkt des gesamten Blutgefäßsystems dar. Die größten Gefäßstämme der Schlagadern wie der Blutadern finden sich in der Nähe des Herzens und verzweigen sich von hier aus, indem sich die weiteren Stämme in engere Stämme und Stämmchen, diese wieder in Äste und Ästchen spalten.

Am häufigsten erfolgt diese Spaltung der Blutgefäße unter spitzen Winkeln oder gabelförmig, nicht selten aber auch unter rechtem oder sogar stumpfem Winkel. Die spitzen Ursprungswinkel finden sich gewöhnlich bei Gefäßen, welche, wie die innere Samenschlagader, einen langen Verlauf bis zu den Organen zurückzulegen haben, in denen sie sich verästeln; der rechte Winkel findet sich im umgekehrten Falle, von welchem die Nierenschlagader ein Beispiel gibt (s. unsere Tafel: „Die Schlagadern des Menschen").

Von einer Spaltung in Äste bis zur anderen verändert gewöhnlich das Blutgefäß seine Weite nicht, dagegen nimmt mit der Verzweigung die Weite der gesamten Blutbahn in immer steigendem Maße zu. Die Summe der Querschnitte der aus einem Gefäßstamm entspringenden engeren Zweige ist nämlich, wie gesagt, meist größer als der Querschnitt des Stammes selbst; die vereinigt gedachten Zweige enthalten meist einen ansehnlicheren Hohlraum als der Stamm, aus dessen Zerspaltung sie entstanden sind. Diese Regel gilt nur für eine Anzahl

mittelstarker Schlagadern nicht streng. Der weiteste Abschnitt des Gefäßsystems ist also der Bezirk der Haargefäße.

Im Gegensatz zur Verzweigung sehen wir auch Gefäße ineinander einmünden, zusammenfließen. Solche Zusammenmündungen, Anastomosen, finden sich bei kleineren, weit vom Herzen entfernten Gefäßen häufiger; an zahlreichen Stellen des Körpers münden kleinere Gefäße netzförmig ineinander ein und bilden wahre Gefäßnetze. Aus der Zusammenmündung mehrerer größerer Blutgefäße entstehen Gefäßkränze oder Gefäßzirkel, z. B. der prächtige Arterienkranz an der Basis der Schädelhöhle, aus welchem das Gehirn mit Blut versorgt wird (s. nebenstehende Abbildung); ähnlich verhalten sich auch die Arterienverbindungen an Hand und Fuß.



Arterienkranz der Schädelbasis, gebildet durch die Stämme und Verzweigungen der Wirbelschlagadern a, der Grundschlagader b und der inneren Kopfschlagadern c; die Äste gehen zum Gehirn und seinen Hüllen.

Die Zusammenmündung der Blutgefäße wird namentlich für die Schlagadern bei krankhaftem Verschluß des einen der Gefäße von Wichtigkeit. Es kann dann unter günstigen Umständen das eine der zusammenmündenden Gefäße, indem es sich erweitert und reichlicher Blut führt, die Ernährung des vorher gemeinschaftlich versorgten Körperteiles allein besorgen, indem sich ein Seitenkreislauf, Kollateralkreislauf, ausbildet, welcher das Kapillargefäßsystem dieses Körperteiles füllt. Die Zusammenmündungen der Blutadern (Venen) sind viel häufiger als die der Schlagadern und dienen den vielfach auch unter normalen Verhältnissen notwendig werdenden kollateralen Kreislaufsveränderungen im Venensystem. Die Haupt- und Endveräftelung der Blutgefäße erfolgt in den Organen, deren Blutbedürfnis sie vorstehen.

Die relativ dickwandigen Gefäßröhren sind, wie wir schon bei Besprechung des Herzens erwähnten, für Blut vollkommen undurchlässig, bei den höheren Wirbeltieren bedürfen sie daher selbst zu ihrer Versorgung mit der Nährflüssigkeit des Blutes eigener ernährender Gefäße: Blutgefäße der Blutgefäße. Diese entspringen nicht von dem Abschnitt des Gefäßes, für welchen sie bestimmt sind, sondern von einem nächst benachbarten Gefäße oder von einem Nebenast des Stammes und bilden ihre Kapillaren in der Gefäßwandung.

Sehr gewöhnlich werden die größeren Gefäße von nachbarlich gleichlaufenden Nerven begleitet, auch die Schlagadern und Blutadern eines Organes laufen meist nebeneinander in entsprechender Richtung. Meistens fassen zwei Blutadern eine Schlagader ein.

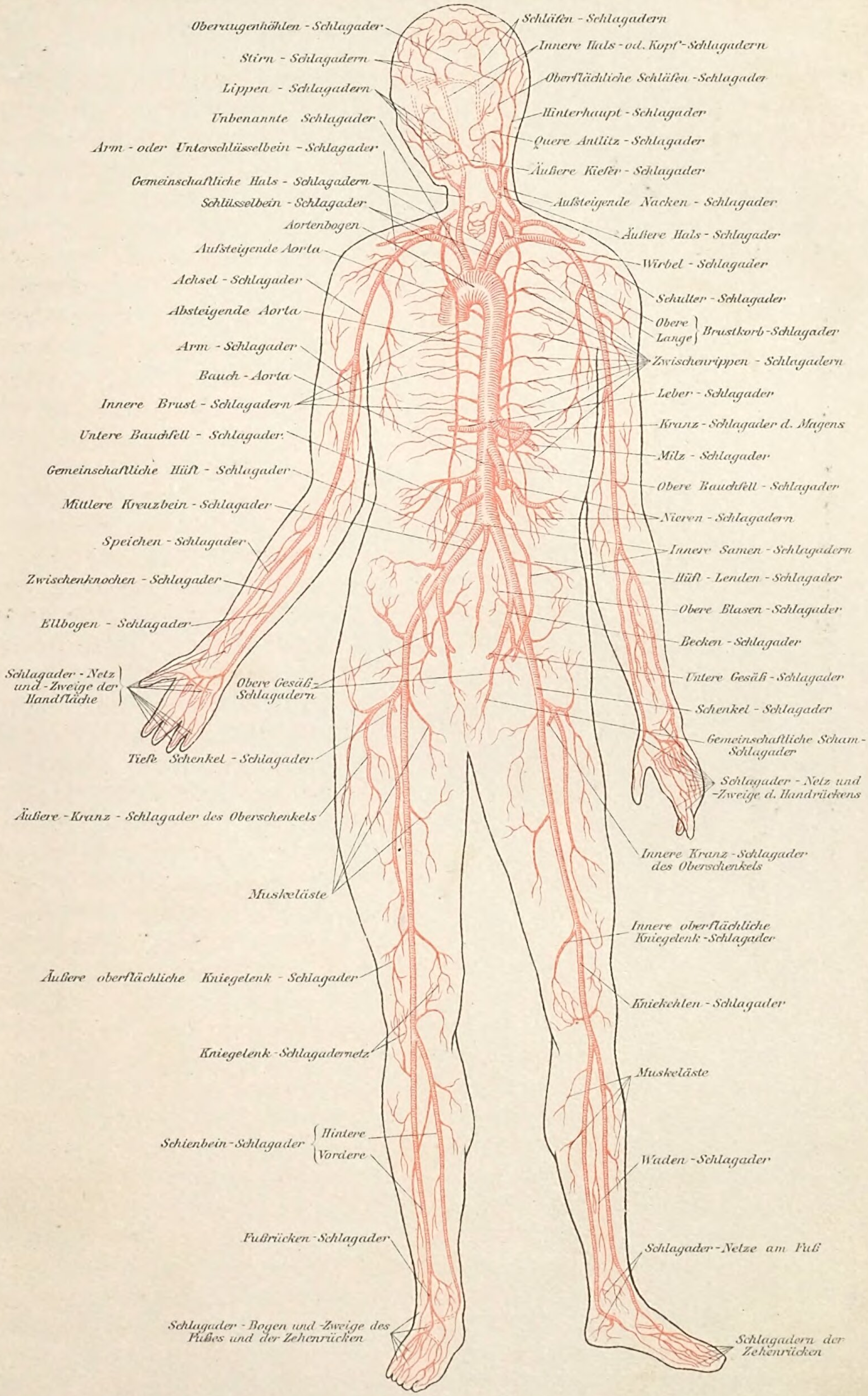
Alle Arterien, Schlagadern, und Blutadern stellen Röhren von kreisförmigem Querschnitt mit mehr oder weniger dicken, sehr elastischen Wandungen dar, welche namentlich bei den Blutadern auch in hohem Grade dehnbar erscheinen. Die drei Schichten der Wand der größeren Blutgefäße haben wir schon bei der Darstellung der anatomischen Verhältnisse des Herzens besprochen;

die vorzüglich aus glatten Muskelfasern sich zusammensetzende Muskelschicht, die Mittelschicht der Gefäßhaut, erteilt den Blutgefäßen die Fähigkeit, sich aktiv unter nervösen Einflüssen zu verengern und zu erweitern. Dieselbe Befähigung zur Zusammenziehung, welche bei dem Herzen in der Herzpulsation zum Ausdruck kommt, ist jedem Teile des Blutgefäßsystems, wenn auch in viel geringerem Grade, eigen. Die Schlagadern und Blutadern besitzen zu diesem Behufe, wie das Herz, Muskelfasern; aber während sich diese bei dem Herzen durch die Querstreifung ihrer mikroskopischen Elemente an die Skeletmuskulatur anreihen, zeigen sich die Muskelschichten der Blutgefäße, wie bei der Mehrzahl der sonstigen Röhrengebilde unseres Leibes, mikroskopisch aus glatten, langgestreckten, spindelförmigen Muskelzellen zusammengesetzt, welche wir als organische Muskelzellen im Gegensatz zu den quergestreiften animalen Muskelfasern kennen gelernt haben. Die glatten Muskelfasern (s. nebenstehende Abbildung) in der Mittelschicht der größeren Blutgefäße haben vorzugsweise eine quere Lage und umkreisen in ihrer Gesamtheit die Röhrenlichtung. Vergleichsweise am mächtigsten entwickelt ist die Muskelschicht der mittelstarken Blutgefäße sowohl bei Schlagadern als Venen. Die Wandungen der Venen sind im ganzen etwas dünner als die der Schlagadern und besitzen auch wohlausgebildete, längsgerichtete Züge von Muskelzellen. Schon bei der Beschreibung des Herzens haben wir darauf hingewiesen, daß in vielen Venen sich Klappeneinrichtungen finden, welche im Bau an die Arterienklappen an den Mündungen der Lungenschlagader und der Aorta erinnern und dem Blutstrom nur die Richtung nach dem Herzen zu offen lassen (vgl. S. 204). Meist stehen diese „taschenförmigen Venenventile“ zu zweien einander gegenüber, an vielen Stellen finden sie sich jedoch nur einzeln, an manchen aber auch zu dreien, wie in den beiden Hauptarterienmündungen. Am häufigsten stehen die Venenklappen an der spitzwinkeligen Vereinigungsstelle größerer Venenstämme. In vielen Venen der oberen Körperhälfte und einiger Eingeweide fehlen sie, dagegen sind sie am zahlreichsten und zugleich am besten ausgebildet in den Venen der unteren Körperhälfte, namentlich in denen der Beine. Wir werden sie als ein wichtiges Unterstützungsmittel der normalen Blutbewegung in der Richtung gegen die Wirkung der Schwerkraft, welcher auch das Blut unterliegen muß, kennen lernen; von diesem Gesichtspunkt aus wird uns ihr Vorkommen namentlich in den unterhalb des Herzens gelegenen Abschnitten des Körpers von Wichtigkeit. In einigen dem Herzen näherliegenden Venen übernehmen die Klappen zum Teil die Thätigkeit venöser Herzventile, der Wirkung der arteriellen Ventile an der Mündung der Aorta und Lungenschlagader entsprechend.



Glatte Muskelfasern der Blutgefäße verschiedener Größe.

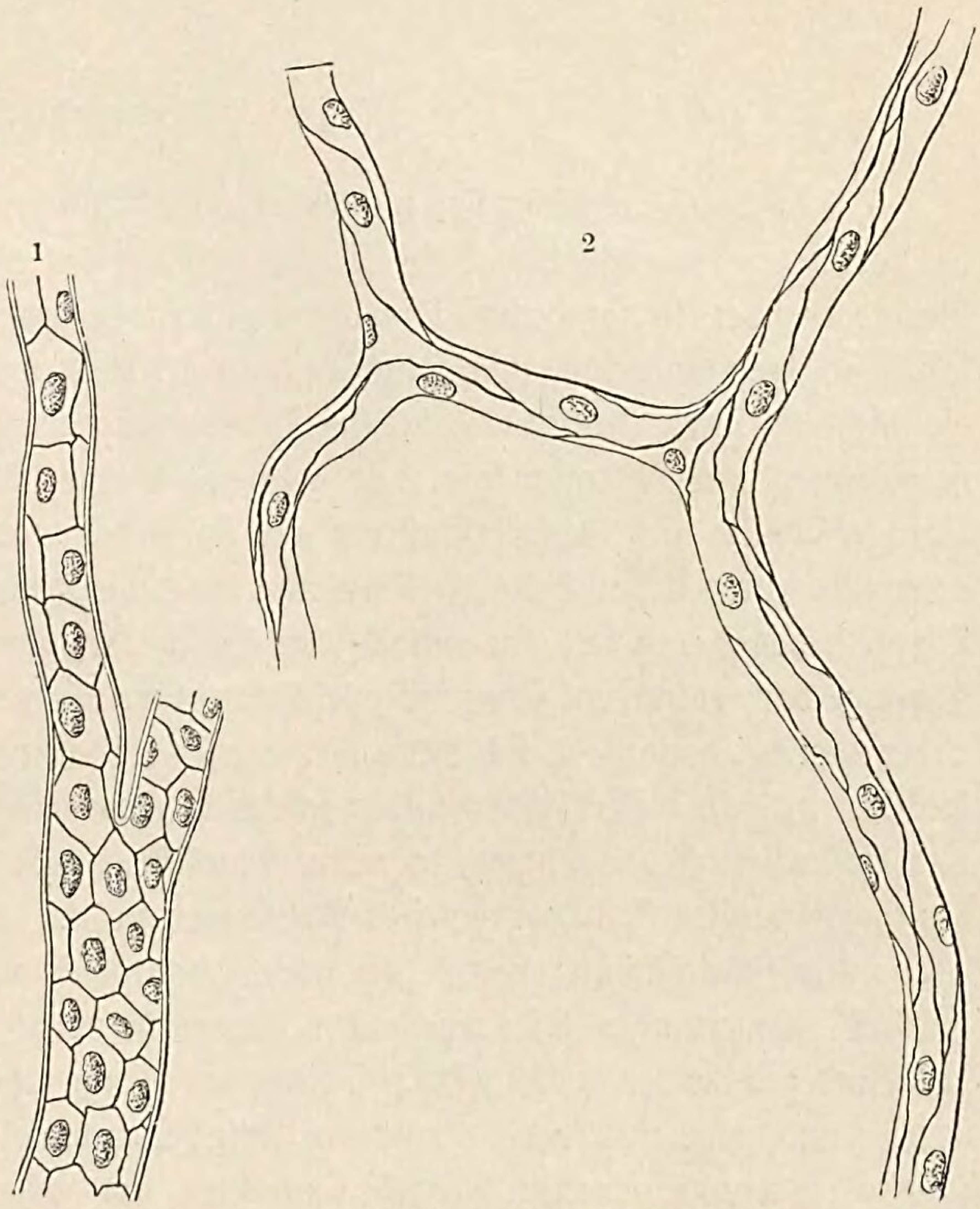
Die Wandungen der Haargefäße bestehen lediglich aus platten, zu einer Röhre zusammengebogenen Zellen (s. Abbildung, S. 215). Diese haben sich wesentliche Eigenschaften des nackten Protoplasmas bewahrt, so daß die Kapillarröhren geradezu als Protoplasma in Röhrenform erscheinen. Wie anderes Protoplasma, besitzen die Zellwände der Haargefäße neben der Fähigkeit zur Einleitung von Diffusion und aktiver Flüssigkeitsauspressung auch die der kontraktilen Gestaltsveränderung, die sie durch Zusammenziehungen zu äußern vermag, welche bis zum Verschluß ihrer feinen Röhrenlichtungen führen können. Die platten Wandzellen der Haargefäße erscheinen kernhaltig, oft mit zackigen Rändern. Bei den feinsten Kapillaren bildet nur eine einzige zusammengekrümmte, mit ihren eigenen Rändern sich ringförmig berührende Zelle je eine Strecke der Wand. An weiteren Haargefäßchen vereinigen sich zwei bis vier Zellen, um, ringförmig zusammengelagert, eine kleine Wandstrecke herzustellen. Die Angabe, daß die



DIE SCHLAGADERN DES MENSCHEN.

Wände der Blutkapillargefäße von kleinen, punktförmigen Öffnungen, welche man Mundöffnungen oder **Stomata** oder auch Stigmata nannte, siebartig durchbohrt seien, ist, wenn auch sehr wahrscheinlich, doch noch nicht sicher erwiesen (s. oben S. 38).

Der gesamte Kreislauf in den Arterien, Venen und Lymphgefäßen beginnt in der Aorta, in welche von der linken Herzkammer aus das Blut eingepreßt wird. In zahllosen Verzweigungen lösen sich die aus der Aorta abstammenden Schlagadern zuletzt in die Kapillarnetze auf, aus welchen dann zwei verschiedene Systeme von Zirkulationsröhren ihren Anfang nehmen, einerseits die Blutadern (Venen), welche als direkte Fortsetzungen der Röhrenlichtungen der Blutkapillaren erscheinen, anderseits die Lymphgefäße, deren kapillare Wurzeln durch die punktfeinen Öffnungen der eben erwähnten Stomata oder durch die noch feineren, den Diffusionsverkehr vermittelnden Lückensysteme ebenfalls in die Blutkapillaren münden. Nachdem Venen wie Lymphgefäße bis in die Nähe des Herzens getrennt ihren Verlauf genommen haben, vereinigen sie ihre Ströme wieder und ergießen die aus Venenblut und Lymphe (mit dem Chylus) gemischte Flüssigkeit in das rechte Herz, von welchem jene durch die Lungen dem linken Herzen, dem Ausgangspunkt des Blutkreislaufes, wieder zugeführt wird.



Wandungen der Haargefäße. 1) Aus sechseckigen, 2) aus spindelförmigen Zellen gebildet. Stark vergrößert.

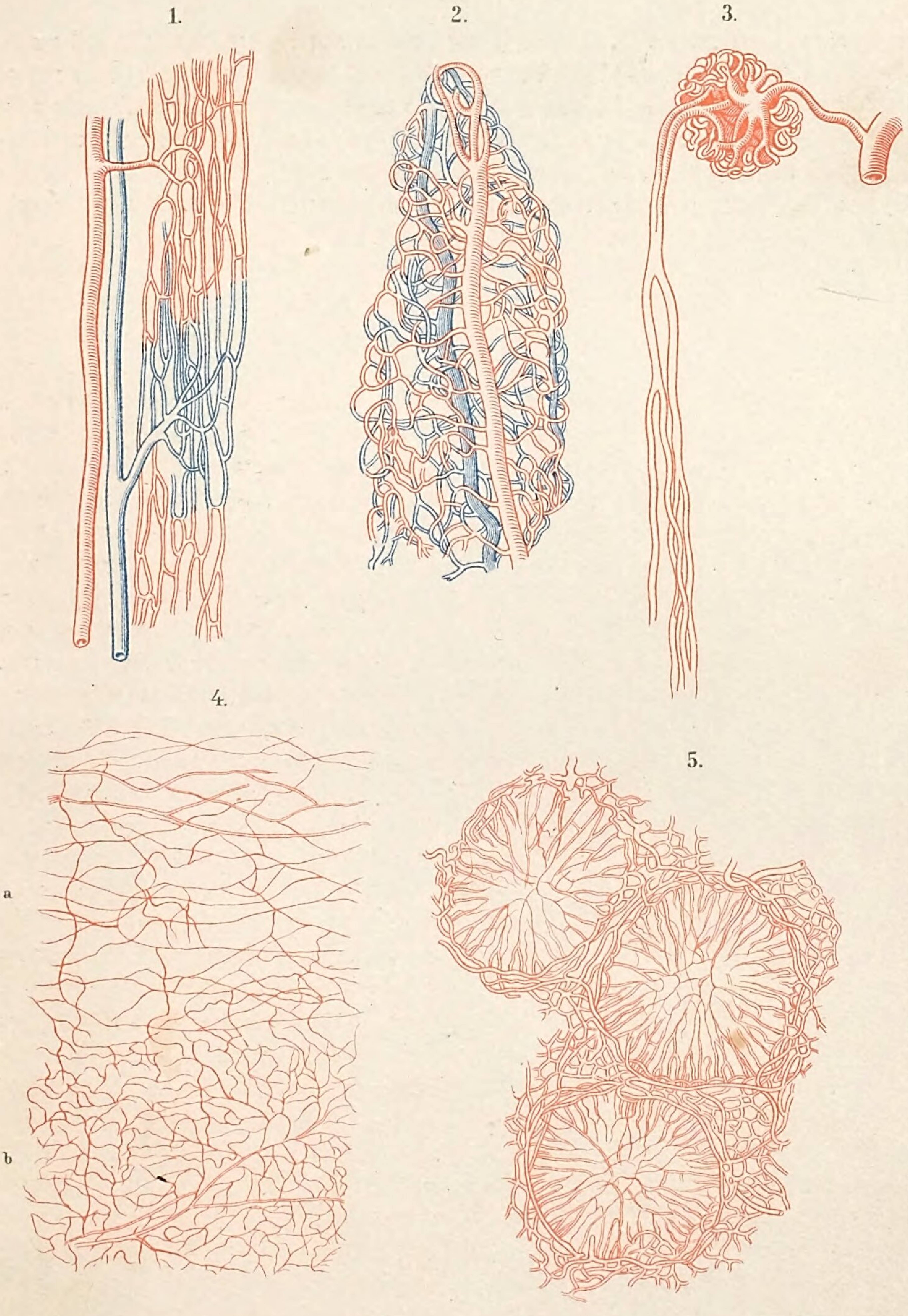
Von hohem Interesse ist die Art und Weise der Verästelung der Blutgefäße, namentlich der Aorta, durch welche jedem einzelnen Organ die Verbindung mit der Lebensquelle des Blutes gewährt wird. Für unsere Aufgabe genügt es, die hauptsächlichsten Verästelungen der Körperschlagader ins Auge zu fassen, was die beigeheftete Tafel „Die Schlagadern des Menschen" ermöglicht.

Die Aorta bildet den einfachen Stamm der Schlagadern des großen Kreislaufes, aus ihren Verzweigungen gehen alle Arterienzweige des letzteren hervor. Von ihrer Ursprungsstelle in der linken Herzkammer steigt sie anfänglich in der Brusthöhle aufwärts (aufsteigender Teil der Aorta), biegt sich dann im Bogen über den linken Luftröhrenast nach links und hinten (Aortenbogen), läuft von hier aus gestreckt abwärts (absteigender Teil der Aorta) an der hinteren Brustwand zum Zwerchfell (Brustaorta), durchbohrt dasselbe, steigt an der hinteren Bauchwand bis vor den vierten Lendenwirbel herab (Bauchaorta) und teilt sich hier gabelförmig in zwei große Äste: die beiden Hüftschlagadern, die sich dann für die inneren Beckenorgane und die Haut und Muskulatur &c. des Unterrumpfes und der Beine in zahlreiche Zweige verästeln. Aber auch auf jeder Strecke ihres oben beschriebenen Verlaufes gibt die Aorta größere und kleinere Schlagaderäste ab. Das Anfangsstück der Aorta, die „Aortenzwiebel", bildet drei den halbmondförmigen Taschenklappen

entsprechende flache Erweiterungen. Anfangs liegt die Aorta am Herzen hinter der Wurzel der Lungenschlagader, aus ihrem aufsteigenden Abschnitt entspringen die beiden Kranzarterien des Herzens. Aus der nach oben gewendeten konvexen Ausbiegung des Aortenbogens erheben sich drei Hauptstämme: für den Kopf, den Hals und die oberen Extremitäten. Von der Brustaorta werden nur verhältnismäßig kleine Zweige zur Brustwandung abgegeben, dagegen erhalten von der Bauchaorta auch die inneren Unterleibsorgane das ihnen notwendige reichliche Schlagaderblut.

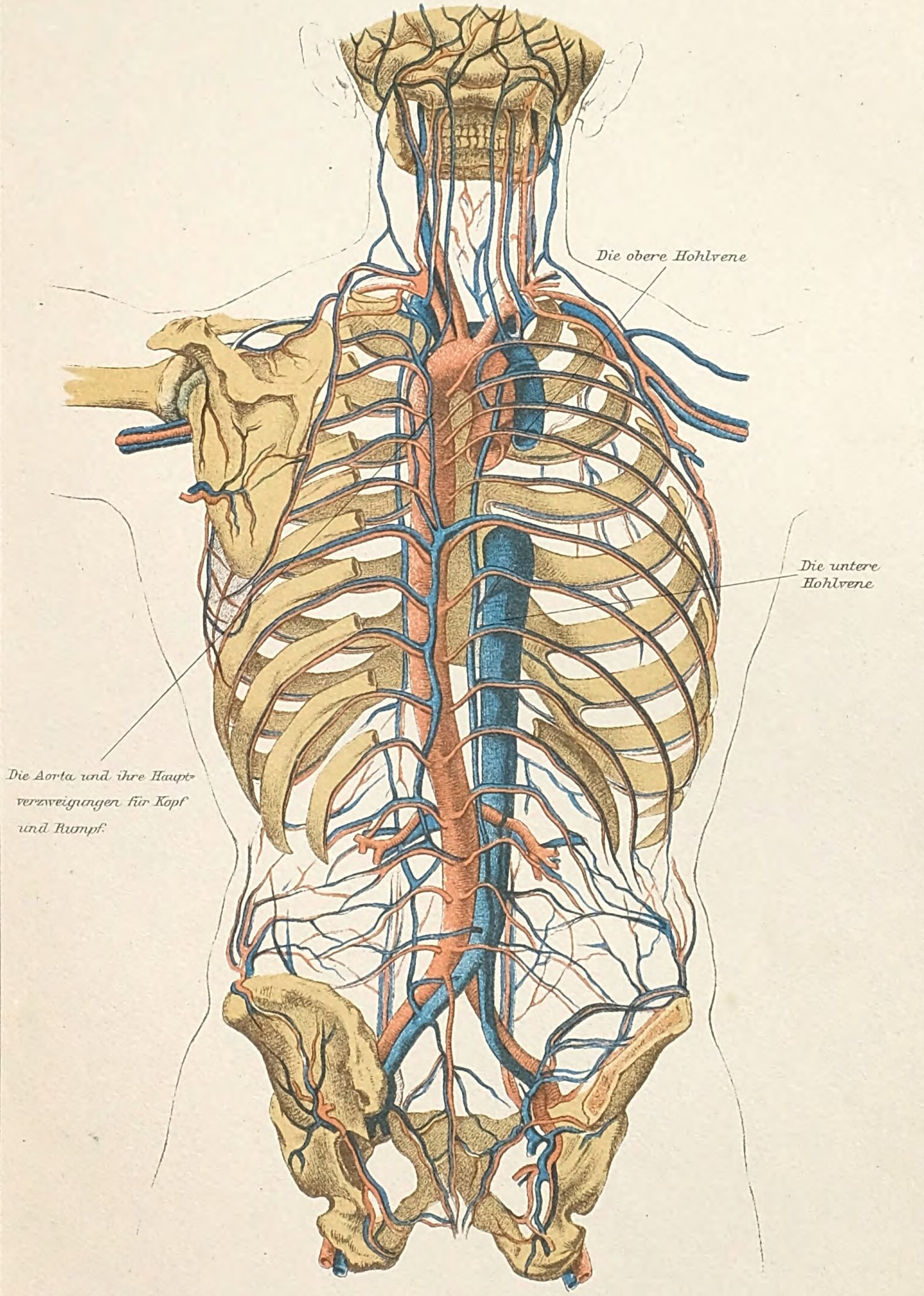
Die Haargefäße.

Die Haargefäße erscheinen zunächst als die feinsten, nur noch aus einer Zellschicht gebildeten Endzweige der Schlagadern; sie gehen aber ebenso direkt in die Endzweige der Blutadern über, so daß sie also auch als feinste Blutaderwurzeln aufgefaßt werden könnten. Doch lassen sich die Haargefäße anatomisch nicht in arterielle und venöse Haargefäße trennen, und nur die Richtung ihres Blutstromes bei der Beobachtung lebender Tiere (z. B. in der Froschschwimmhaut) unter dem Mikroskop gibt uns gelegentlich einen Aufschluß darüber, welchem der beiden Hauptabschnitte des Blutgefäßsystems wir sie näher zuordnen dürfen. Der Übergang von der arteriellen zur venösen Seite der Blutbahn durch die Haargefäße geschieht in verschiedener Weise. Oft stellt das Haargefäß eine einfache, die Schlagaderenden und die Blutaderwurzeln verbindende Schlinge dar; manchmal sehen wir zwei Haargefäße mit verschieden gerichtetem Blutstrom parallel nebeneinander herlaufen, sich durch mehrere Queräſtchen und endlich durch eine Endschlinge verbinden. In sehr vielen Fällen bilden zahlreiche Haargefäße ein mehr oder weniger engmaschiges und dichtes, feinstes Gefäßnetz, in welchem das Blut nach den verschiedenen durch die Anordnung der Gefäßmaschen ihm dargebotenen Richtungen strömt. Einerseits sehen wir eine kleine Schlagader unter Zweigbildung sich in ein solches Haargefäßnetz auflösen, anderseits eine kleine Vene durch Verschmelzung von Haargefäßchen daraus hervorgehen. Die Haargefäße verbreiten sich, da das Bindegewebe der ausschließliche Träger der Blutgefäße ist, ebenfalls ausschließlich im Bindegewebe und zwar nur in der Zwischenzellensubstanz desselben, ohne in die Zellen der Bindesubstanzen oder in die vom Bindegewebe umhüllten, aus Zellen gebildeten mikroskopischen Elementarteile, wie Muskel- und Nervenfasern, selbst einzudringen. Darauf beruht es, daß sich das Haargefäßnetz in der Form seiner Maschen den Formen der mikroskopischen Gewebselemente anpaßt (s. die beigeheftete Tafel „Verschiedene Formen von Haargefäßnetzen"). Je nach der Gestalt der die Gewebe aufbauenden Gewebseinheiten sind die Maschen des Haargefäßnetzes bald langgestreckt und geradlinig verbunden (in den Muskeln und Nervensträngen), bald umschließen die Maschen rundliche, mehr oder weniger unregelmäßige Räume. Das Netz der Haargefäße und damit die Möglichkeit der Blutzufuhr zu einem Organ ist im allgemeinen um so reicher, je lebhafter die Thätigkeiten sind, welche das Leben von einem Organ oder Organteil gewöhnlich fordert, je lebhafter in ihm die Bewegung, Empfindung, Aufsaugung, Ausscheidung ist. Ein höchst auffallender Unterschied besteht im Reichtum des Kapillarnetzes wie in seiner Maschenform zwischen der grauen und weißen Nervensubstanz, von welchen die erstere vorwiegend aus Nervenzellen, den eigentlichen Herden der nervösen Thätigkeit, besteht, die zweite aus Nervenfasern, welche dem Leitungsvorgang der Erregung vorstehen. Die Gehirnrinde, aus grauer Nervensubstanz gebildet, hat ein engmaschiges, reiches und unregelmäßiges Netz von Haargefäßen, während die tiefer liegenden „weißen" Gehirnschichten ein ärmeres Haargefäßnetz mit rechteckigen, langgestreckten, regelmäßigen Maschen besitzen. Trotz aller dieser Unterschiede in der Anordnung und Verzweigung



VERSCHIEDENE FORMEN VON HAARGEFÄSSNETZEN:

1. im Muskel; 2. in einer Darmzotte; 3. Arterienknäuel, Gromerulus, und daraus hervorgehende Haargefäße in der Niere; 4. im Gehirn: a) in der weißen, b) in der grauen Substanz; 5. in der Leber.



DIE GROSSEN BLUTGEFÄSSE DES RUMPFES
(in das Skelett eingezeichnet).

Ansicht von hinten; die Wirbelsäule ist entfernt, links auch das Wirbelsäulenende der Rippen, rechts die ganze hintere Rippenhälfte.

der Haargefäße beträgt im Durchschnitt die Länge der Haargefäßstrecke zwischen dem Schlagaderende und Blutaderanfang nicht mehr als etwa 1/2 mm. Stets ist also die Strecke, auf welcher das Blut mit den Organen direkt verkehren kann, nur eine sehr kleine, die ernährende und reinigende Thätigkeit des Blutes auf einen relativ geringen Raum und sehr kurze Zeit beschränkt.

Die Blutadern des großen Kreislaufes.

Die Blutadern oder Venen sind zahlreicher als die Schlagadern, weiter und ausdehnbarer als diese; sie münden häufiger ineinander ein, und zwar finden sich direkte Verbindungen zwischen dickeren Stämmchen viel öfter als bei den Schlagadern.

Ihre Verteilung zeigt trotz vieler und auffallender Übereinstimmung doch wesentliche Unterschiede von jener der Schlagadern (s. die beigeheftete Tafel „Die großen Blutgefäße des Rumpfes“). Nur die tiefer liegenden Blutadern laufen großenteils neben ihren gleichnamigen Schlagadern hin, die Blutadern am Hals, Kopf und Gehirn verästeln sich in anderer Weise als die Schlagadern, welche diese Teile versorgen; die unpaare Vene, die Vena azygos, entspricht ebensowenig arteriellen Gefäßen wie die in der schwammigen Knochensubstanz der Schädelknochen verlaufenden Blutadern. Namentlich macht sich ein Unterschied zwischen dem Schlagader- und dem Blutadergefäßsystem sehr bemerkbar: außer den mehr in der Tiefe neben den Schlagadern liegenden Blutadern finden sich noch direkt unter der allgemeinen Körperhaut im Unterhautzellgewebe, wo stärkere Schlagadern fehlen, zahlreiche größere Blutaderzüge, die Hautvenen, welche sich mit den tieferen Blutadern durch Zwischenäste vielfach direkt verbinden. Die Hautvenen und der durch sie vermittelte regelmäßige Seitenkreislauf des Venenblutes, wobei die oberflächliche und die tiefe Blutaderschicht normal miteinander abzuwechseln vermögen, ist für die Blutbewegung in den Venen von größter Wichtigkeit, da diese ihrer dünnen Wandungen halber und wegen des geringeren auf ihren flüssigen Inhalt wirkenden Druckes überhaupt leichter Störungen der Blutbewegung ausgesetzt sind als die Schlagadern. Daher bedürfen die Venen speziell unterstützender Einrichtungen für die regelrechte Unterhaltung des Blutlaufes, welche in den Venenklappen, in den oben beschriebenen Zusammenmündungen der Blutadern, und in der Teilung in zwei offen zusammenhängende, aber getrennte Verlaufswege, der eine oberflächlich, der andere mehr in der Tiefe gelegen, zum Teil ihren anatomischen Ausdruck finden. In demselben Sinne unterstützt den Blutstrom zum Herzen die Fähigkeit zu regelmäßigen, rhythmischen, Zusammenziehungen, welche von einigen dem Herzen nahegelegenen Blutaderstämmen, den Hohlvenen und Lungenvenen, bekannt sind. An den oberen und unteren Extremitäten begleiten regelmäßig zwei Blutadern eine Schlagader, welche sie zwischen sich fassen; dasselbe ist auch in der harten Hirnhaut der Fall. Wie bei den Schlagadern, sind die vereinigt gedachten Hohlräume der Venenzweige meist weiter als der aus ihnen sich bildende Venenstamm.

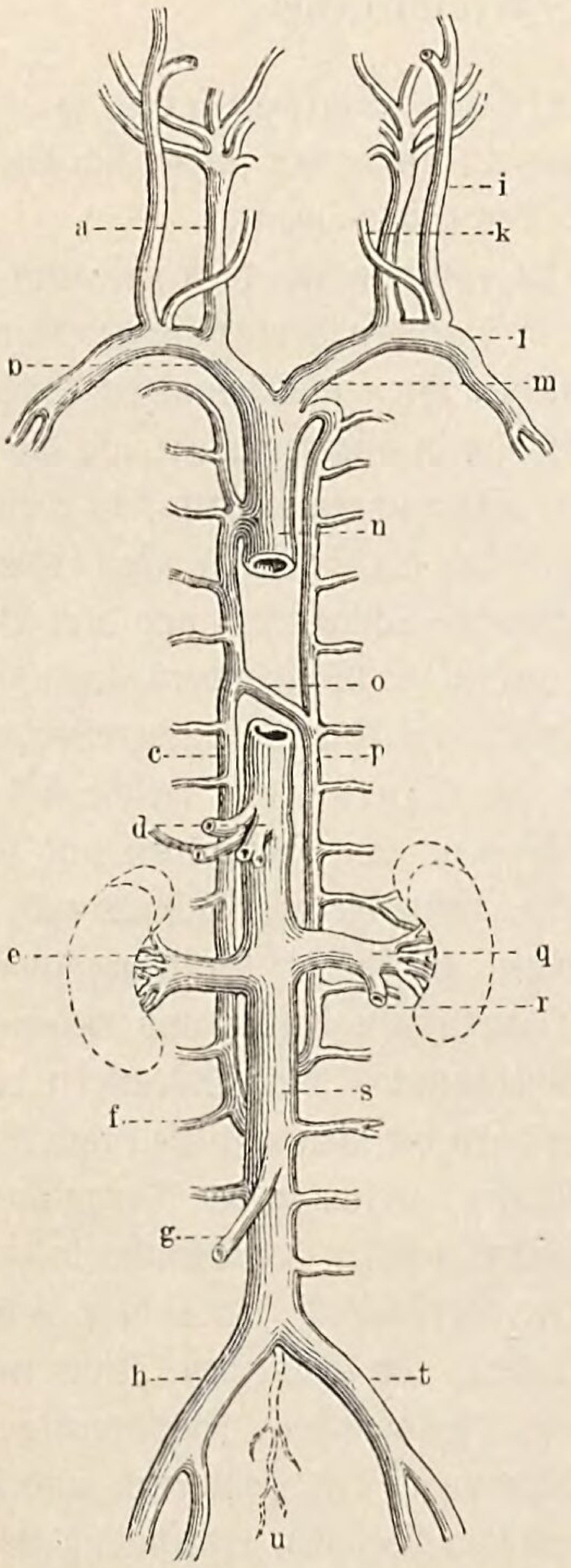
Alle Blutadern beginnen auf der venösen Seite des betreffenden Haargefäßbezirks als kleine, netzartig zusammenfließende Gefäße, welche man Venenwurzeln nennt, wachsen durch Vereinigung zu größeren Zweigen und Ästen und fließen fast sämtlich zuletzt zu den beiden großen Hohlvenen, der oberen und unteren, Vena cava superior und Vena cava inferior, und zu den Lungenvenen, Venae pulmonales, welche das durch die Aorta und die Lungenarterie in die Organe ergossene Blut in das Herz zurückführen.

Dagegen verlaufen die Zweige und Äste der Blutadern, welche aus den innerhalb des Bauchfellsackes gelegenen Eingeweiden kommen, nicht unmittelbar zu den Hauptstämmen der unteren Körperabteilung, zur unteren Hohlvene, sondern vereinigen sich zu einem besonderen, zwar kurzen,

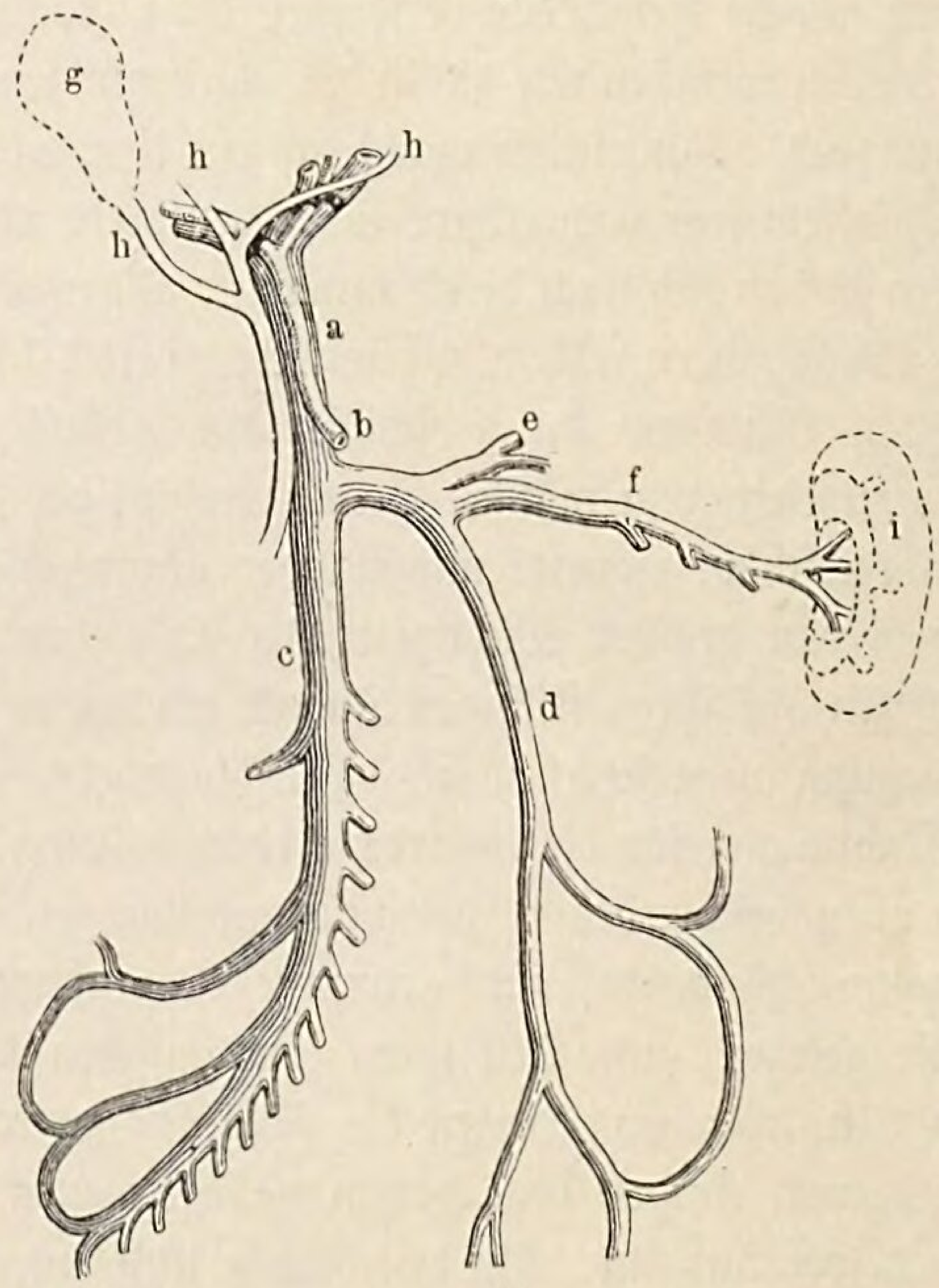
aber weiten Blutaderstamm, der **Pfortader**, Vena portae hepatis, welche, aus den Zweigen der Eingeweide zusammengeflossen, von neuem in eine reiche, baumförmige Verästelung in der Leber zerfällt und sich hier wie eine Schlagader zu Haargefäßen auflöst. Letztere verbinden sich mit den von der Leberschlagader, Arteria hepatica, gelieferten Haargefäßen zu einem sehr reichen, engmaschigen Haargefäßnetz, welches die mikroskopischen Leberbestandteile umspinnt und neue Blutadern aus sich entspringen läßt, die als eigentliche Lebervenen das venöse Blut der Leber zur unteren Hohlvene führen.

Die im Unterhautzellgewebe liegenden Hautvenen sind jene bläulichen, leicht geschwungenen Linien, welche wir durch die besonders zarte und weiße Haut an den Schläfen und am Handrücken schimmern sehen, und welche, als Zornader vom Nasenansatz über die Stirn laufend, bei Behin-

1

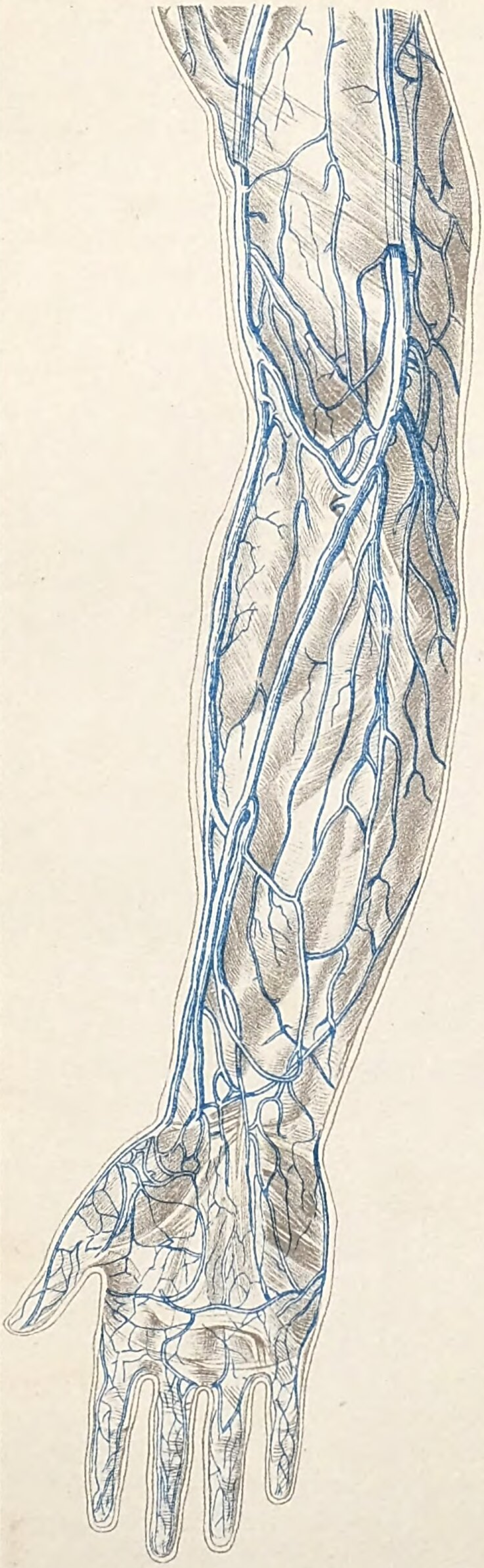


2

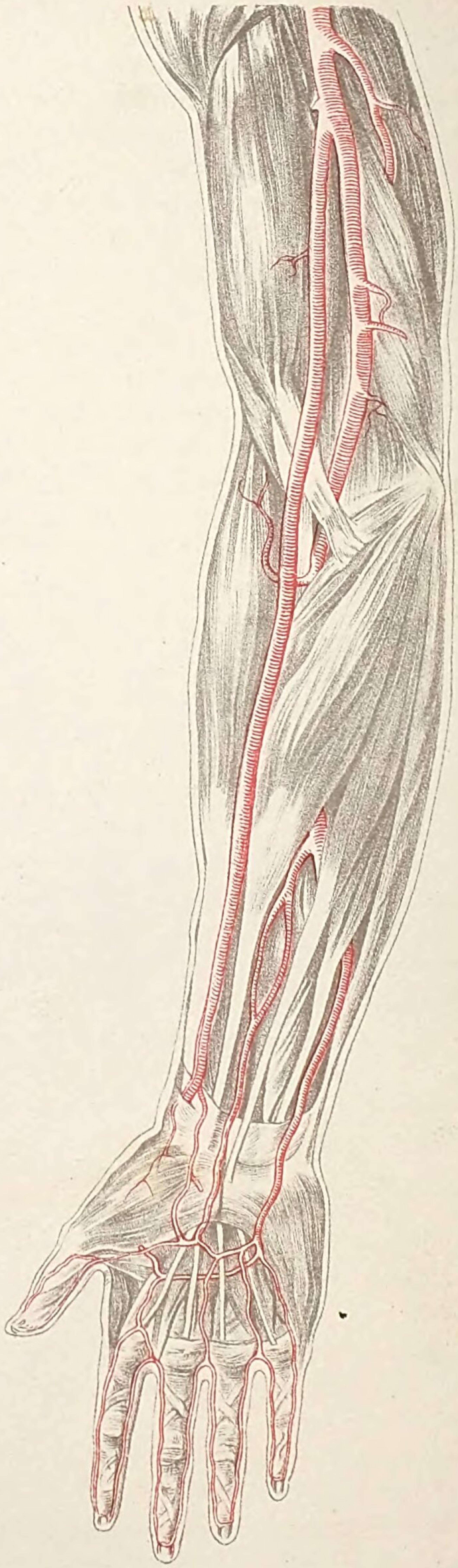


1) **Die Venenstämme des großen Blutkreislaufes:** a) gemeinschaftliche Drosselvene, b) rechte unbenannte Vene, c) unpaarige Vene, d) Lebervenen, e) rechte Nierenvene, f) Lendenvene, g) rechte Samenvene, h) rechte gemeinschaftliche Hüftvene i) äußere Drosselvene, k) vordere Drosselvene, l) Schlüsselbeinvene, m) linke unbenannte Vene, n) obere Hohlvene, o) Einmündung der halbunpaarigen Vene in die unpaarige Vene, p) halbunpaarige Vene, q) linke Nierenvene, r) linke Samenvene, s) untere Hohlvene, t) linke gemeinschaftliche Hüftvene, u) Kreuzbeinvene. — 2) **Das Pfortadersystem:** a) Pfortader, b) Leberarterie, c) obere, d) untere Gekrösvene, e) obere Magenvene, f) Milzvene, g) Gallenblase, hhh) Gallengänge, i) Milz.

derungen der Atmung anschwellen und auch sonst, z. B. bei knochigen, mageren Händen, wie dicke blaue Stränge über die Haut hervorragen können. Hautvenen sind es auch, welche der Arzt, vorzugsweise in der Ellbogenbeuge, zum Zweck der Blutentziehung, des **Aderlasses**, öffnet (s. die beigeheftete Tafel „Die Blutgefäße des Armes“). Die Blutadern ertragen Verwundungen besser, und ihre Wunden heilen leichter als die der Schlagadern, da ihre dünnen Wände nach der Verwundung zusammenfallen. Der geringe Blutdruck in den Blutadern, der durch die Möglichkeit des Seitenkreislaufes noch verringert werden kann, hindert einen stärkeren Blutaustritt aus den



Die oberflächlichen Venen oder Blutadern der Beugeseite des Armes.



Die Hauptschlagaderstämme des Armes.

DIE BLUTGEFÄSSE DES ARMES.

Venenwunden und stellt sich nicht, wie bei den Schlagadern, der Wundverklebung und damit der Heilung entgegen. Auch bei größeren Blutaderwunden reicht der leichte Druck eines Verbandes auf die Wunde aus, um diese für die Blutstillung und Heilung genügend fest zu verschließen, während aus der verwundeten Schlagader das Blut so rasch und in so kräftigem Strome hervorspritzt, daß nur ein direktes Umschnüren des blutenden Gefäßes mittels eines festen Fadens die Lebensgefahr dauernd zu beseitigen vermag. Für den Augenblick, ehe der Arzt helfend zur Stelle ist, vermag ein starker Druck, am besten mit dem Daumen auf den dem Herzen näher gelegenen Wundrand ausgeübt, die Verblutung aufzuhalten.

Für unsere Zwecke genügt es, die Hauptstämme des Blutadersystems nach der die Hauptverzweigungen benennenden Abbildung, S. 218, näher ins Auge zu fassen. Die Hauptblutadern des großen Kreislaufes sind die obere und untere große Hohlvene, welche, durch die beiden unpaarigen Blutadern in direkte Verbindung gesetzt, der Aorta in Verlauf und Verzweigung im allgemeinen entsprechen. Sie führen das Blut aus dem ganzen Körper (nur die Kranzblutadern des Herzens münden dort ohne ihre Vermittelung) zur Höhle des rechten Herzvorhofes. In der unteren Hohlvene strömt die Hauptmasse des Blutes aus der unterhalb, in der oberen Hohlvene dagegen aus der oberhalb des Zwerchfelles gelegenen Körperhälfte.

Die Schlagadern und Blutadern des kleinen Kreislaufes.

Die Blutgefäße des kleinen oder Lungenkreislaufes haben einen viel kürzeren Verlauf als jene des großen oder Körperkreislaufes. Die größeren Schlagadern spalten sich rasch meist in je zwei kleinere, und in derselben Weise fließen die engeren Blutadern zu weiteren zusammen. Die Wände der Lungenschlagadern sind dünner und schlaffer als die der Aorta und ihrer Äste, dagegen sind die Lungenblutadern dickwandiger als die gleich starken Blutadern, selbst als die gleich starken Schlagadern des Aortenkreislaufes. Eigentliche Klappen fehlen den Lungenblutadern. Die mittlere Muskelschicht ihrer Wände zeigt zum Teil quergestreifte mikroskopische Muskelelemente. Der auffallendste Unterschied zwischen den gleichbenannten Abschnitten des Lungenkreislaufes und denen des Aortenkreislaufes ist ein schon oben dargestellter physiologischer; die Lungenschlagadern führen dunkles, blaurotes, „venöses" Blut, die Lungenblutadern dagegen hellrotes, „arterielles" Blut; das Verhältnis der Blutarten zu Schlagadern und Blutadern ist im Lungenkreislauf sonach gerade umgekehrt wie im großen Kreislauf.

Der Hauptstamm des kleinen oder Lungenkreislaufes ist die gemeinschaftliche Lungenschlagader, Arteria pulmonalis, welche aus der Arterienmündung der rechten Herzkammer hervorkommt. Von allen großen Gefäßen an der Herzbasis liegt ihr Anfangsstück am weitesten nach vorn, vor dem Anfang der Aorta, zwischen den Spitzen der beiden Herzohren, dann wendet sie sich, nach hinten gekrümmt, an die linke Seite der Aorta (s. Tafel „Das Herz des Menschen"). In der Höhe des dritten Brustwirbels spaltet sich die gemeinschaftliche Lungenschlagader in ihre beiden beinahe unter einem rechten Winkel auseinander tretenden Hauptäste, die rechte und die linke Lungenschlagader. Von der Spaltungsstelle verläuft ein plattrundlicher Strang zur konkaven Seite des Aortenbogens, es ist der Rest eines während des Fruchtlebens offenen Verbindungsgefäßes zwischen Lungenschlagader und Aorta, der Schlagadergang, Ductus arteriosus Botalli (s. Tafel „Die Lunge des Menschen").

Die rechte Lungenschlagader ist etwas länger und weiter als die linke, läuft unter dem Aortenbogen hinter der absteigenden Aorta und von dem rechten Hauptast der Luftröhre zur rechten Lungenwurzel. Ehe sie in die Lunge selbst eintritt, spaltet sie sich in zwei ungleich starke

Äste, von denen der obere der dickere ist. Die kürzere linke Lungenschlagader geht von der absteigenden Aorta und dem linken Hauptast der Luftröhre zur Wurzel der linken Lunge und spaltet sich vor dem Eintritt in dieselbe ebenfalls in zwei ungleich starke Äste, von denen der untere der dickere ist. Die größeren Äste der Lungenschlagader verlaufen in der Lunge selbst meist an der oberen und vorderen Seite der größeren Luftröhrenäste.

Die vier Lungenblutadern, Venae pulmonales, welche nur eine Länge von ungefähr 1½ bis 2 cm besitzen, fließen vor ihrem Eintritt in die linke Vorkammer des Herzens nicht zu einem gemeinsamen Hauptstamm zusammen, sondern münden getrennt in dieselbe ein. Man unterscheidet sie als rechte obere und untere und linke obere und untere Lungenblutader nach ihrem Ursprung aus dem rechten oder linken Lungenflügel (s. Tafel „Das Herz des Menschen"). Sie entstehen in den Wurzeln der Lungen aus der Zusammenmündung ansehnlicher Äste, welche im allgemeinen, anders wie die Lungenschlagadern, unter den größeren Luftröhrenzweigen verlaufen.

Die Hauptstämme der Lymphgefäße.

Zu einer vollen Übersicht über den anatomischen Bau und die Verzweigungen des Gefäßsystems mangelt uns noch ein Blick auf das Lymphgefäßsystem.

Die Lymphgefäße, deren älterer Name Saugadern war, treten mit ihren zarten, mit den Haargefäßen wahrscheinlich durch die oben in den Haargefäßwandungen beschriebenen feinen Punktmündungen, Stomata oder Stigmata, wie man meist annimmt, offen zusammenhängenden Wurzeln, welche in allen Organen in größerer oder geringerer Reichhaltigkeit vorhanden sind und hier Netze bilden, zu feinen Stämmchen zusammen. Mehrere solcher Stämmchen laufen oft eine Strecke lang nebeneinander her, dann vereinigen sie sich meist unter sehr spitzem Winkel zu stärkeren Stämmchen, endlich treten alle in zwei Hauptstämme zusammen. Die der unteren Körperhälfte, der Becken und Bauchhöhle, sowie der linken Brusthöhle und der linken oberen Körperhälfte, also weitaus die größte Zahl aller im Körper sich findenden Lymphgefäße, vereinigen sich im Milchbrustgang, Ductus thoracicus. Nur die Lymphgefäße der rechten oberen Körperhälfte und der rechten Brusthöhle bilden den öfters in mehrere Stämmchen geteilten, gemeinschaftlichen rechten Lymphstamm (s. Abbildungen, S. 37, 43 und 47).

Die Lymphgefäße sind weit zahlreicher als die Blutgefäße, in deren Begleitung sie meistens ihren Weg nehmen. Wie die Blutadern, teilen sie sich nach ihrem Verlauf in oberflächliche und tiefe. Die oberflächlichen Lymphgefäße verlaufen mit den oberflächlichen Venen, die sie oft in mehrfacher Anzahl begleiten, unter der Haut und münden durch Verbindungsröhren in die tiefen, vielfach neben den Blutgefäßen herlaufenden Lymphgefäße im Inneren der Organe. Zahlreich finden sich oberflächliche Lymphgefäße auch auf der Oberfläche der Eingeweide.

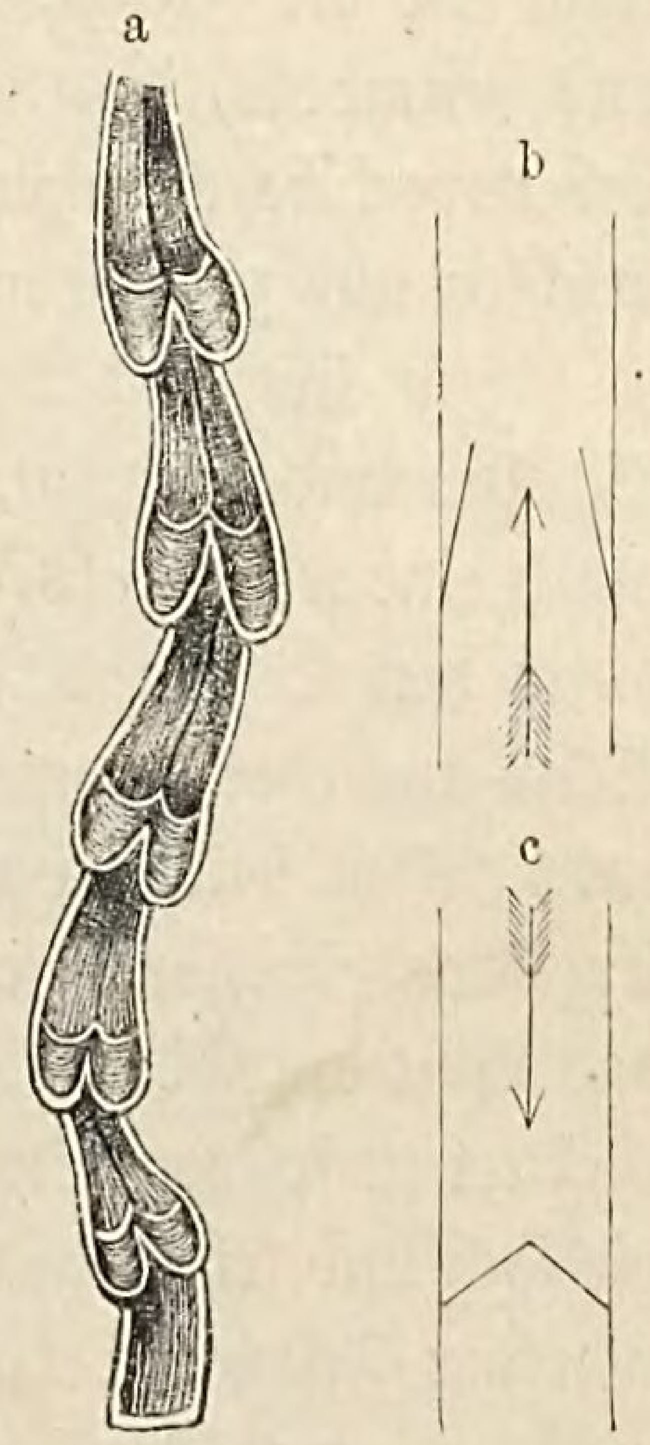
Die Wandung der Lymphgefäße ist, trotzdem sie durchsichtiger und dünner ist als die der gleichweiten Blutgefäße, doch fester und dehnbarer als diese. Im Bau gleichen die Lymphgefäße den Blutadern, doch ist ihr Reichtum an meist doppelt nebeneinander stehenden Klappen ein noch größerer. Wie die Blutgefäße, so erhalten auch die größeren Lymphgefäße ernährende Blutäderchen.

Bei den größeren Lymphgefäßen kommen Zusammenmündungen vergleichsweise viel seltener vor als bei den Blutgefäßen. Dagegen zeigen sie eine ganz eigentümliche Art der Verbindung durch die Lymphdrüsen, deren Bau wir bei den Verdauungsorganen näher kennen lernen werden. Die Lymphdrüsen sind in gesundem Zustand linsen- bis erbsengroße, abgeplattete, länglich- oder kreisrunde Körperchen, in welche eine Anzahl von Lymphgefäßstämmchen eintritt. Nach

vielfachen Schlängelungen, Verästelungen und Knäuelungen, und nachdem sie sich in die eigentlichen Lymphdrüsenräume eingesenkt, treten aus den Lymphdrüsen die Lymphgefäße wieder aus, meist in geringerer Anzahl, dafür aber etwas weiter, als sie eingetreten. Entsprechend dem verschiedenen Verlauf der Lymphgefäße, unterscheidet man auch oberflächliche und tiefe Lymphdrüsen. Die oberflächlichen liegen an einzelnen Körperstellen zu größeren Paketen vereinigt, z. B. an der Beugeseite der Gelenke, in der Kniekehle, in der Weichengegend und Oberschenkelbeuge, in der Achselgrube, am Winkel des Unterkiefers, am Hals. Die letztgenannten Lymphdrüsen sind durch ihre „skrofulösen" Anschwellungen als „Drüsen" allbekannt. Die tieferen Lymphdrüsen finden sich vorzugsweise an der Austrittsstelle der Lymphgefäße aus den inneren Organen, in denen sie sich gebildet haben, z. B. an den Lungenwurzeln, und besonders zahlreich im Gekröse.

Die Lymphgefäße werden nach den Körperregionen und Organen benannt, aus denen sie entstehen. Man unterscheidet z. B. Lymphgefäße des Kopfes und Halses, der oberen Extremitäten, der Brust, des Unterleibes, des Beckens, der unteren Extremitäten und außerdem die schon genannten beiden Hauptstämme des Lymphgefäßsystems.

Der Milchbrustgang bildet sich meist aus dem Zusammenfluß von drei kurzen, aber ziemlich dicken Stämmchen, den Wurzeln des Milchbrustganges, und zwar meist von dem ersten oder zweiten Lendenwirbel rechts und hinten von der Bauchaorta. Die rechte und linke Wurzel führen die Lymphe von den unteren Extremitäten, aus dem Becken, von den Reproduktionsorganen und von dem unteren Teil der Bauchwände. Die mittlere Wurzel bildet sich aus der Vereinigung der Mehrzahl der Lymphgefäße der Verdauungswerkzeuge, namentlich aus jenen des Darmes. Diese Wurzel ist es also, welche in der Verdauungsperiode außer Lymphe auch den aus dem Darm aufgenommenen Milchsaft, den Chylus, in den Milchbrustgang leitet. Die Zahl der Wurzeln des Milchbrustganges kann auf neun bis zehn steigen, wenn die aus den Organen herantretenden Stämmchen nicht zu dickeren Wurzelstämmen verschmelzen.



Lymphgefäßklappen.
a) Ein der Länge nach geöffnetes Lymphgefäß, b und c) Schema der Klappenwirkung bei verschiedenen gerichtetem Lymphstrom.

Der Anfangsteil des Milchbrustganges bildet meist eine spindelförmige Anschwellung, die Chyluszisterne (Cisterna chyli); von hier läuft der sich wieder bis zu einem Durchmesser von etwa 2 mm verengernde Gang in der Bauchhöhle senkrecht, aber etwas geschlängelt in die Höhe, dringt durch das Zwerchfell in die Brusthöhle, wo er rechts neben der Aorta zwischen dieser und der unpaarigen Vene hinzieht, gelangt von hier hinter die Speiseröhre, wendet sich dann links und bis zum unteren linken Teil des Halses und biegt sich von hier zu seiner oben schon erwähnten Einmündungsstelle in das Venensystem an dem Vereinigungswinkel der Schlüsselbeinblutader mit der gemeinschaftlichen Drosselblutader.

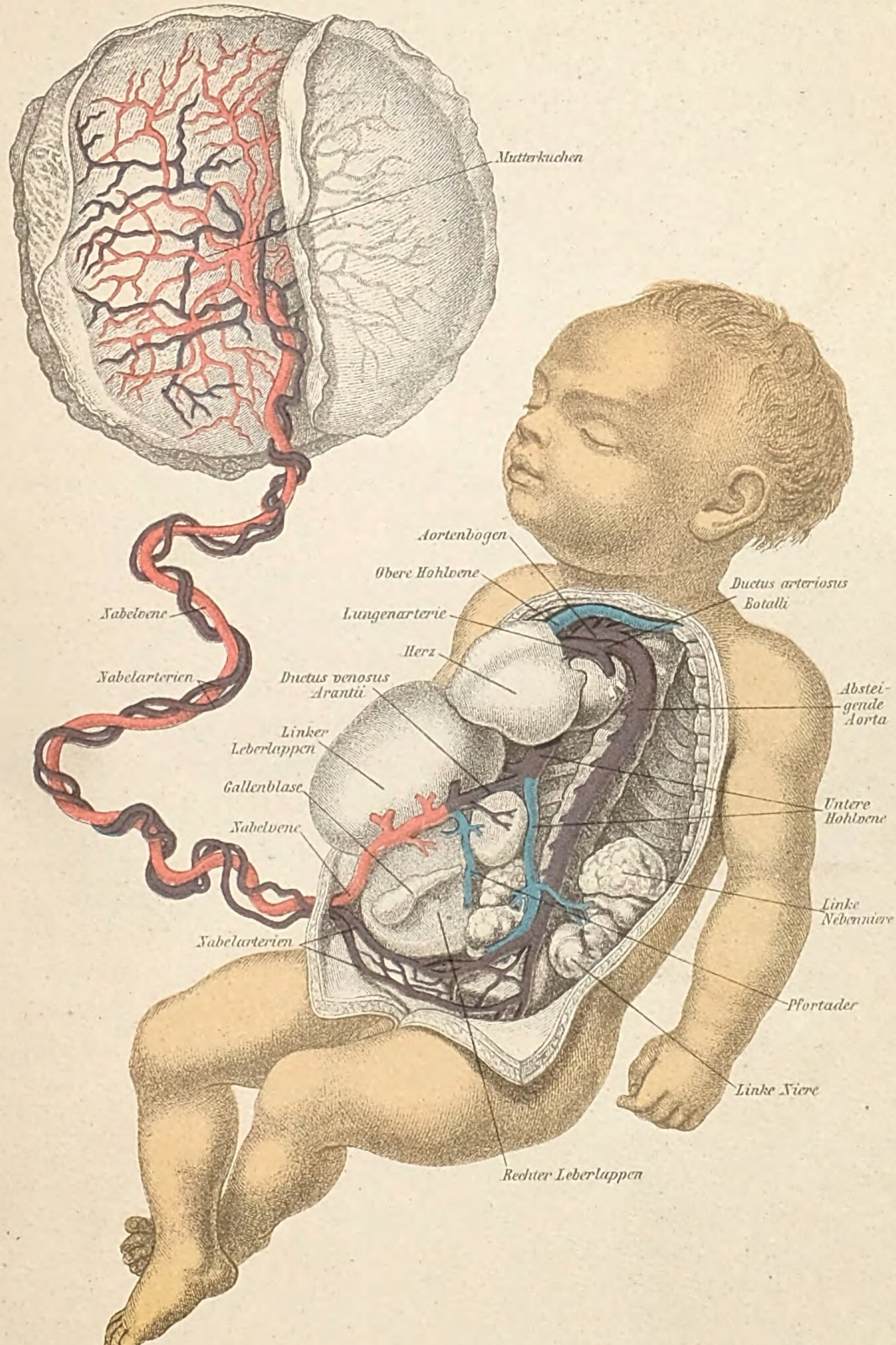
Der kleine rechte gemeinschaftliche Lymphgefäßstamm entsteht meist ebenfalls aus drei Wurzeln, welche sich manchmal, ohne sich zu einem Stamm zu vereinigen, gesondert in den Vereinigungswinkel der rechten Schlüsselbein- und Drosselblutader einsenken.

Der Blutkreislauf in der menschlichen Frucht.

Während des Fruchtlebens können die Lungen noch nicht Luft aufnehmen, die Aufgabe des kleinen Kreislaufes ist während dieser Periode dem „Nabelkreislauf" zugeteilt, welcher nach der Geburt seine Thätigkeit sofort einstellt. Während der Fruchtentwickelung atmet die Mutter für das Kind, und die Placenta, der Mutterkuchen, jenes wichtige Organ, durch welches sich die Frucht mittels der Allantoisblutgefäße mit dem mütterlichen Körper in direkte Verbindung setzt, versieht während dieser Zeit die Funktionen der Atmung gleichzeitig mit denen der Ernährung für die Frucht. Die beigeheftete Tafel „Blutkreislauf in der menschlichen Frucht" zeigt uns schematisch den Blutkreislauf während des Fruchtlebens. Wir erkennen einige nur dieser Lebensperiode angehörende Blutwege, welche nach der Geburt sich rasch verengern, endlich verwachsen und zu soliden Strängen sich umwandeln.

Im Herzen des Erwachsenen sind die rechte und linke Herzhälfte vollkommen durch die Scheidewand getrennt, während des Fruchtlebens kommunizieren dagegen die beiden Vorkammern durch eine weite, als eirunde Öffnung (Foramen ovale) bekannte Verbindung. Ebenso besteht durch den Schlagadergang (Ductus arteriosus Botalli) eine offene Verbindung zwischen der Aorta und der Lungenarterie. Aus dem vorderen Ast der während des Fruchtlebens mächtiger entwickelten beiden inneren Hüft- oder Beckenschlagadern (Arteria iliaca interna und Arteria hypogastrica) entspringen bei der menschlichen Frucht die beiden Nabelschlagadern, welche das Blut durch den Nabel und durch die Nabelschnur in den Mutterkuchen senden und nach der Geburt zu soliden Strängen verwachsen. Die Nabelschlagadern verzweigen sich im Mutterkuchen vielfach und sehr fein und biegen schließlich in Schlingen der zarten Zöttchen, welche wie Wurzeln von der Frucht in das mütterliche Gewebe des Mutterkuchens hineingesteckt sind und hier in weite, vom mütterlichen Blut gespeiste Blutgefäßhöhlen hereinragen, in die Venen um; diese sammeln sich zu der einen Nabelvene, die das Blut aus dem Mutterkuchen zur Frucht zurückführt. Die Nabelvene steigt am Aufhängeband der Leber zur linken Längsfurche der Leber, senkt sich dann mit einigen kleineren Ästchen in die Lebersubstanz und verbindet sich durch einen weiteren Ast mit der Pfortader, mit einem engeren Blutadergang (Ductus venosus Arantii) und mit der unteren Hohlvene.

Während das aus der Frucht in den Mutterkuchen einströmende Blut durch die im mütterlichen Blut gebadeten Zöttchen in direkten Diffusionsverkehr mit dem mütterlichen Blut tritt, nimmt es aus dem Blut Sauerstoff und Nährmaterial auf und gibt dafür Kohlensäure sowie einen Teil der nicht gasförmigen Zersetzungsprodukte ab, welche sich in den Organen während des Fruchtlebens in ähnlicher Weise bilden wie später im freien Leben. Die Nabelarterien entsprechen physiologisch also der Lungenarterie, sie führen relativ sauerstoffarmes, halbvenöses Blut zur Placenta, welches dort, wie später in den Lungen, gereinigt und mit der nötigen Sauerstoffmenge versehen wird. Von dort kehrt das Blut, „arteriell" geworden, zur Frucht zurück. In dem Kreislauf der Frucht führt daher die obere Hohlvene venöses Blut dem Herzen zu; dagegen erhält durch den Blutadergang die untere Hohlvene auch arterielles Blut aus der Nabelvene, so daß eine vollkommene Trennung von arteriellem und venösem Blut im Fruchtkörper überhaupt noch nicht existiert. Das in die rechte Vorkammer eingeströmte, der Hauptmasse nach venöse Blut ergießt sich zum Teil in die rechte Herzkammer. Aus dieser gelangt es zur Lungenarterie und aus der Lungenarterie durch den Schlagadergang, durch die absteigende Aorta, in die untere Körperhälfte. Aus der rechten Vorkammer strömt aber das Blut auch durch das eirunde Loch direkt in die linke Vorkammer und durch die hier entspringende Aorta in die obere Körperhälfte.



Blutkreislauf in der menschlichen Frucht.

Rot: *Die Nabelvene, welche das im Mutterkuchen arteriell gewordene Blut der Frucht zuführen.*
Blau: *Die Venen der Frucht.*
Violett: *Die Arterien der Frucht, welche eine Mischung von venösem und arteriellem Blute führen.*

Von dieser kehrt das Blut, vollkommen venös geworden, durch die obere Hohlvene zum Herzen zurück, während das venöse Blut aus der unteren Körperhälfte, in seinem späteren Verlauf mit dem aus der Nabelvene, arteriell aus der Placenta einströmenden Blut gemischt, durch die untere Hohlvene den Weg zum Herzen nimmt. Die beigeheftete Tafel „Blutkreislauf in der menschlichen Frucht" deutet durch drei verschiedene Farben dieses dreifach verschiedene Verhalten des Blutes an; blau entspricht dem venösen, rot dem arteriellen, blaurot dem gemischten arteriell-venösen Blut.

Nervöse Einwirkungen auf die Blutgefäße.

In jeder Maschine, von Menschenhand gebaut, erkennen wir ein Stück Menschengeist verkörpert. Wieviel Logik und Geist spricht aus dem Bau und der Arbeit einer Dampfmaschine. Aber kaum in etwas anderem drückt sich die gleichsam menschenähnliche Individualität eines solchen technischen Kunstwerkes in höherem Grad aus als darin, daß es aus inneren, in ihm selbst gelegenen Einrichtungen die Fähigkeit besitzt, seinen Gang selbstthätig zu regulieren. Diese „Selbststeuerung" der Dampfmaschinen, durch welche z. B. die Dampfzufuhr durch die Maschine selbst beschränkt wird, wenn der Lauf der Maschine durch zu reichliches Zuströmen von Dampf ein zu rascher geworden ist, ersetzt die Arbeit eines denkenden und aufmerksam beobachtenden Maschinenwärters.

Die wunderbare Maschine des Menschenkörpers zeigt nach den verschiedensten Richtungen solche „Selbststeuerungen", welche ebenfalls in Thätigkeit treten, unbewußt, lediglich bedingt durch die technischen, logischen Einrichtungen der animalen Maschine selbst. Eins der auffälligsten Beispiele von Selbststeuerung im Menschenkörper ist durch die nervösen Einwirkungen auf die Weite der Blutgefäße gegeben. Alle Organe bedürfen zur Entfaltung ihrer normalen Lebensthätigkeiten Blut. Indem nun durch nervöse, vollkommen unbewußt eintretende Erweiterung und Verengerung der zu den Organen leitenden Blutbahnen die Blutzufuhr gesteigert oder verringert wird, ganz ähnlich wie die Maschine durch Selbststeuerung den Dampf reichlicher oder weniger reichlich unter den Kolben strömen läßt, kann der Organismus die Arbeitsfähigkeit und Arbeitsleistung eines Organs steigern oder vermindern.

Während des normalen Verlaufes des Lebens wird ununterbrochen die Weite der Blutgefäße durch Einflüsse von seiten des Nervensystems reguliert und den Ernährungs- und Arbeitsbedürfnissen der Organe angepaßt. Während und nach ihrer Thätigkeit bedürfen alle arbeitenden Organe eines stärkeren Zuflusses von Blut, welcher ihnen in reichlicherer Menge Ernährungsmaterial und Sauerstoff zuführt. Gleichzeitig wäscht der stärkere und raschere Blutstrom aus den Organen jene im gesteigerten Lebensprozeß in größerer Menge gebildeten Organzersetzungsprodukte rascher und vollkommener aus, welche, wie z. B. die Kohlensäure, eine ermüdende und endlich lähmende Wirkung auf die Organe, in welchen sie sich anhäufen, hervorbringen. Zu den in einem gegebenen Zeitabschnitt gerade stärker arbeitenden Organen: zu den Verdauungseingeweiden während des Verdauungsprozesses, zu den weiblichen Reproduktionsorganen, während diese mit der Fruchternährung beschäftigt sind, zu den Muskeln und den gesamten Bewegungsgliedern bei gesteigerter mechanischer Arbeitsleistung und anderen, sehen wir die Schlagadern unter nervösem Einfluß erweitert und stärker gefüllt herantreten. Umgekehrt erhalten die gleichzeitig vergleichsweise ruhenden Körperteile weniger Blut, indem sich ihre Schlagadern verengern. Auf diese Weise findet ein unausgesetzter Wechsel der Blutverteilung im Organismus statt; die Gesamtblutmenge, über welche der Körper verfügt, braucht sich nicht in ihrer Quantität zu

ändern, aber trotzdem erhalten die Organe, je nachdem sie zeitweilig stärker oder in geringerem Maße thätig sind, eine stärkere oder geringere Blutversorgung. Verstärkung des Blutstromes zu einem Organ ist stets mit einer entsprechenden Verminderung des Blutstromes in den übrigen Organen notwendig verbunden.

Einzelne Schlagadern zeigen in einem langsamen Rhythmus Abwechselung von stärkerer und geringerer Füllung, von größerer und geringerer Weite. Am frühesten waren diese Veränderungen an den Blutgefäßen der Ohren von Kaninchen bekannt. Die Kaninchenohren sind, gegen das Licht gehalten, so durchscheinend, daß man ohne weiteres das langsame An- und Abschwellen der Blutgefäße an ihnen beobachten kann. Später hat man auch an den Darmschlagadern gewisser Tiere dasselbe Phänomen beobachtet, und wahrscheinlich finden sich auch an den Schlagadern des menschlichen Körpers ähnliche physiologische Abwechselungen der Weite und Blutfülle.

Die Einflüsse des Nervensystems auf die Gefäßweite entsprechen in hohem Grade denen, die wir auf das Herz haben wirken sehen. Auch die Weite oder Enge der Gefäße steht zunächst unter dem Einfluß des sympathischen Nervensystems. Lähmung oder Verletzung des Grenzstranges des Sympathikus bewirkt eine Lähmung und dadurch Erweiterung der von dessen nervösen Zentren aus beeinflußten Blutgefäße. Aber außer diesen sympathischen Einwirkungen sehen wir in ähnlicher Weise, wie wir das in der Betrachtung des Herzens geschildert haben, vom Gehirn und Rückenmark aus „regulierende" Einflüsse auf die Gefäßweite ausgeübt. Eine Lähmung des Rückenmarkes in der Nackengegend erweitert alle Schlagadern des daruntergelegenen Körperabschnittes.

Die nervösen Einflüsse auf die Gefäßweite sind während des normalen Lebens sehr wechselnd; sie sind es vor allem, durch welche die Blutverteilung im Körper dem wechselnden Bedürfnis seiner Organe angepaßt wird. Die bekannten Wirkungen psychischer Alterationen auf die Weite der Blutgefäße beweisen, daß auch vom Gehirn aus und zwar von einem ganz speziellen Teile desselben nicht nur das Herz, sondern das ganze Blutgefäßsystem beeinflußt werden kann. Die Blässe des Schreckens ist eine Folge der aktiven Zusammenziehung von Blutgefäßen, umgekehrt wird die Schamröte durch Erweiterung der betreffenden Blutbahnen erzeugt. Auch Hautreize und Reize von den inneren Organen ausgeübt wirken durch reflektorische Übertragung innerhalb des Nervensystems in verschiedener Weise auf die Gefäßmuskulatur. Durch die Kälte sehen wir zuerst die Blutgefäße der Haut sich verengern und infolge davon die Haut erblassen. Endlich ermüdet die durch die Kälte übermäßig gereizte Gefäßmuskelhaut mit ihren Nerven, und auf die anfängliche Verengerung folgt eine sekundäre Erweiterung der Blutgefäße.

Auch an der Fortbewegung des Blutes beteiligen sich die Blutgefäße durch aktive Zusammenziehungen. Wir haben schon rhythmische Kontraktionen und Erweiterungen der großen Blutaderstämme in der Nähe des Herzens erwähnt, aber auch aktive Verengerungen der Schlagaderwände hat man beobachtet. Wenn das Herz aus irgend einer Ursache aufhört zu schlagen, erlischt damit noch nicht sofort die Bewegung des Blutes in den Gefäßen. Die Schlagadern sind durch das frühere Einpressen von Blut zunächst noch elastisch ausgedehnt, sie können sich nun, da eine neue Ausdehnung von seiten des ruhenden Herzens nicht mehr stattfindet, infolge der Elastizität ihrer Wandungen verengern; aber daran schließt sich sofort eine aktive Zusammenziehung der Schlagaderwände an, und zwar ist die somit eintretende Verengerung der Schlagadern so beträchtlich, daß wenigstens aus den mittelstarken Ästen der Arterien alles Blut durch die Haargefäßbezirke in die Blutadern hinübergepreßt wird. Bald nach dem Erlöschen der Herzthätigkeit und des Lebens findet man daher die Schlagadern von Blut fast vollkommen geleert. Das war die Ursache für die Meinung der alten Anatomen, daß die Schlagadern, wie die „große Arterie" (die Luftröhre), nicht Blut, sondern Luft oder wenigstens ein „luftartigeres" Blut als die

Blutadern führen sollten. Daher stammt der Name Arterien (Luftadern) für die Schlagadern. Dagegen finden sich in der Leiche die Venen, in welche die Arterien im Todeskrampf ihren Blutinhalt durch die Haargefäße hinübergepreßt haben, stark mit Blut gefüllt. Das ist der Grund für ihren auffallenden Namen: Blutadern.

Während des ununterbrochenen Fortganges der Blutbewegung im Leben kommt übrigens wahrscheinlich neben der Elastizität der Arterienwandungen für das Forttreiben des Blutes auch die aktive Wirkung ihrer Muskelhaut in Betracht.

Das Schauspiel des Blutkreislaufes unter dem Mikroskop gab uns schon über eine Reihe von Einzelheiten der Blutbewegung in den verschiedenen Abschnitten des Gefäßsystems unmittelbare Anschauungen (s. S. 200 u. 201). Wenn es nicht darauf ankommt, die Blutzirkulation in ihrer Beziehung zur Herzbewegung zu beobachten, so bietet sich uns, außer den eben ausgeschlüpften Fischchen, auch in dem durchsichtigen Schwanze der im Frühjahr jede Pfütze belebenden kleinen Froschlarven ein vortrefflich geeignetes, außerordentlich zartes Objekt zur mikroskopischen Untersuchung der Blutbewegung dar. Hier oder in der Schwimmhaut zwischen den Froschzehen ist es möglich, uns durch stärkere Vergrößerungen die Formbestandteile des Inhaltes der Blutgefäße und ihre Bewegungen in denselben in wunderbarer Klarheit vor Augen zu führen.

Überblicken wir hierbei einen etwas größeren Gefäßbezirk, so fallen uns, worauf wir schon oben aufmerksam gemacht, zunächst sehr bedeutende Unterschiede in der Geschwindigkeit des Blutstromes in den verschiedenen Gefäßchen auf. Die verschiedene Raschheit der Blutbewegung wird uns durch mikroskopisch kleine Körperchen, die Blutkörperchen, anschaulich, welche in großer Anzahl die Gefäße in einer farblosen Flüssigkeit, dem Blutwasser oder Blutplasma, schwimmend durchlaufen. Der größere Teil dieser Blutkörperchen erscheint im Menschenblut als ziemlich flache Scheibchen, einzeln rötlichgelb, in größerer Masse zusammengehäuft blutrot gefärbt. Das sind die roten Blutkörperchen. Neben diesen, in wechselnder, aber stets weit geringerer Anzahl (beim Menschen etwa 1 zu 350), sehen wir die farblosen oder weißen Blutkörperchen als wenig größere farblose Kügelchen, kleine nackte Zellen.

Durch einige Gefäßchen werden, wie uns das Mikroskop lehrt, die roten Blutkörperchen, an deren Fortrollen wir den Strömungsvorgang in derselben Weise erkennen, wie wir die Strömung eines Flusses nach den in ihm schwimmenden Gegenständen bemessen, scheinbar mit großer Raschheit hindurchgerissen. Diese Gefäße lösen sich unter unseren Augen in ein Netz feinster Zweige auf, welche schließlich so eng werden, daß ihre Weite nur noch für den Durchgang eines einzigen Blutkörperchens Raum bietet. Eins muß hinter dem anderen hindurchfließen, manchmal sogar sich so stark hindurchzwängen, daß seine Gestalt in eine längliche verwandelt wird. Diese feinsten Blutgefäße sind die Haargefäße oder Kapillargefäße. Die Gefäße mit rascher Strömung, von welchen aus das Blut in die Kapillaren einströmt, sind kleine Schlagadern, Arterien. Ebenso lassen sich die Blutadern, Venen, an der Richtung der Strömung direkt erkennen. Ihr Strom führt nach größeren Ästchen und Zweigen in entgegengesetzter Richtung wie der in den Arterien von den Kapillaren ausgehende. Das Mikroskop zeigt die Blutgeschwindigkeit in den Blutäderchen, Venen, auffallend viel geringer als in den Schlagaderzweigen, und die Farbe des Blutes in den Venen erscheint gesättigter, dunkler als in den Arterien. In den einzelnen Haargefäßen ist die Strömung nicht gleich rasch. Wir können unter dem Mikroskop ohne große Schwierigkeit den Weg messen, den ein Blutkörperchen in einem Haargefäß in einer bestimmten kurzen Zeit zurücklegt. Durch die Vergrößerung des Mikroskops erscheint selbstverständlich auch der Raum, den das Blutkörperchen in einer bestimmten Zeit zurücklegt, und damit die Raschheit seiner Bewegung entsprechend vergrößert. In Wirklichkeit ist aber die Geschwindigkeit der Blutbewegung in den

Haargefäßen eine ziemlich geringe. Jedes Blutkörperchen durchläuft etwa in einer Sekunde seine Kapillarstrecke, deren mittlere Länge, wie wir hörten, noch nicht $1/2$ mm beträgt.

In den allerkleinsten Schlagaderzweigen ist, wie in den Haargefäßen und Blutadern, die Blutströmung ununterbrochen gleichmäßig. Aber schon in etwas größeren Schlagaderästchen bemerken wir an der Strömung rasch aufeinander folgende rhythmische Beschleunigungen, denen ebenso rasch vorübergehende Perioden der Verlangsamung folgen. Diese Verlangsamung und Beschleunigung ist die Folge des Arterienpulses (s. S. 232), jener Erscheinung, welche den Schlagadern ihren Namen gegeben hat. An den größeren arteriellen Gefäßen erscheint der Puls, durch das Einpressen von Blut von dem Herzen aus in die Arterien erzeugt, als rhythmische, mit dem Herzschlag gleichzeitige An- und Abschwellung, die durch die Haut hindurch bei allen oberflächlich liegenden Schlagadern dem berührenden und sanft drückenden Finger als eine rasche, klopfende, je einem Herzstoß entsprechende Bewegung, als Pulsschlag, fühlbar wird.

In Gefäßchen, welche so weit sind, daß mehrere Blutkörperchen nebeneinander hinschwimmen können, sehen wir diese in buntem Tanze durcheinander rollen. In etwas weiteren Gefäßen sieht man die roten Blutkörperchen rasch in der Mitte des Gefäßhohlraumes, beinahe wie ein dickerer oder dünnerer Faden, tanzend strömen, ohne daß eins von ihnen die Wand berührte. An der Wand schleichen rollend die farblosen Blutkörperchen, etwa zehnmal langsamer als die roten Blutkörperchen, in einer Schicht ungefärbter Blutflüssigkeit hin (s. Tafel „Mikroskopie des Blutes"). Infolge ihres geringeren spezifischen Gewichtes werden die farblosen Blutkörperchen bei der Bewegung des Blutes aus den spezifisch schwereren roten Blutkörperchen gleichsam ausgesiebt und gelangen dadurch in die Wandschicht der das Blutgefäß erfüllenden Flüssigkeit. Da die farblose Blutflüssigkeit die Innenwand des Gefäßes benetzt und von ihr stark angezogen wird, so wird für die der Gefäßwand zunächst strömenden Flüssigkeitsschichten durch die Reibung an der Gefäßwand die Strömung entsprechend verlangsamt. Diese Verschiedenheit in der Strömungsgeschwindigkeit der verschieden weit von der Wand dahingleitenden Flüssigkeitsschichten wird uns durch die Verschiedenheit in der Bewegung der im Zentralstrom hinschießenden roten und der im Wandstrom schleichenden farblosen Blutkörperchen ohne weiteres anschaulich. Je enger die Lichtung eines Gefäßes ist, desto stärker macht sich die Reibung des Blutes an der Gefäßwand auf die ganze im Gefäß strömende Flüssigkeitssäule geltend. Das ist ein Hauptgrund, warum sich in allen engen Gefäßen, aber namentlich in den Kapillaren, der Blutstrom so bedeutend verlangsamt. Auch im lebenden Menschenkörper finden sich so durchsichtige Stellen, daß sie den Blutlauf direkt mit dem Mikroskop zu beobachten gestatten. Es ist das namentlich an der inneren Schleimhautfläche der Unterlippe der Fall, wo man die gleichen Beobachtungen macht.

Die Bemerkung, daß schon in den feinsten Schlagaderzweigen der Puls nicht mehr zu beobachten ist, beweist uns, daß die im Pulse sich aussprechende „Triebkraft des Herzens" schon in diesen nicht mehr wirksam wird; der Einfluß der Herztriebkraft ist vollkommen verschwunden in den Kapillargefäßen und Blutadern. Für die theoretische Auffassung der Ursachen der Blutbewegung ist diese Beobachtung von größter Tragweite. Die Druckkraft des Herzens, welche sich schon in den engsten Arterienästchen nicht mehr nachweisen läßt, kann also nicht die alleinige Ursache der Blutbewegung in den Gefäßen sein. Die Druckkraft des sich zusammenziehenden Herzens wird durch die Wirkung, welche das sich erweiternde Herz als Saugpumpe ausübt, in Beziehung auf die Unterhaltung der Blutbewegung unterstützt. Wir werden aber bald finden, daß die Herzkraft auch mit dieser Unterstützung nicht hinreicht, um die Zirkulationserscheinungen des Blutes in den Gefäßen vollständig zu erklären. Ein Teil der bei der Blutzirkulation thätig werdenden Bewegungsmomente erweist sich als in den Blutgefäßen selbst gelegen. Wie wir schon angedeutet haben, kommt hierfür weniger die Fähigkeit

der Blutgefäße, ihre Lichtung durch aktive Zusammenziehung ihrer Muskelschicht zu verändern, in Frage als die hohe Elastizität ihrer Wandungen. Auch noch eine Anzahl anderer Einrichtungen werden wir kennen lernen, durch welche die Blutbewegung unterstützt wird.

Sehen wir zunächst von der eignen Fähigkeit der Blutgefäße zu Erweiterung und Verengerung ganz ab, so können wir die Blutgefäße mit dem Herzen als ein in sich geschlossenes System elastischer Röhren betrachten. In den mittleren Abschnitten dieses Röhrensystems bieten die engen Röhrchen der Haargefäßnetze einer in diesen Hohlräumen sich bewegenden, die Wandungen benetzenden Flüssigkeit einen sehr beträchtlichen Bewegungswiderstand dar. Mit der zunehmenden Weite der Arterien und Blutadern nimmt diese Strömungsbehinderung durch die Flüssigkeitsreibung an den Gefäßwandungen mehr und mehr ab und kommt in den weitesten Röhren kaum mehr in Betracht.

Denken wir uns die Gesamtmasse des Blutes, welche bei einem zwischen 63 und 64 kg schweren Manne in runder Zahl 5000 g = 10 Pfund beträgt, in dem ganzen Blutgefäßsystem gleichmäßig verteilt, so daß alle Abschnitte des letzteren gleichmäßig gefüllt sind, so erscheinen alle Gefäßwände etwas ausgedehnt. Die normale Blutmenge ist etwas größer, als es der Gesamtheit der ungedehnten Röhrenlichtung des Blutgefäßsystems entsprechen würde. Es werden sonach durch den überreichlichen Inhalt die Röhrenwände elastisch gedehnt. Dieser Ausdehnung entsprechend üben die Gefäßwände auf den in ihnen enthaltenen flüssigen Inhalt einen gewissen Druck (Blutdruck) aus, auch wenn wir uns als Ausgangspunkt für die folgenden Betrachtungen über die Blutbewegung das Blut vollkommen gleichmäßig in dem ganzen Blutgefäßsystem verteilt denken. Die regelmäßige Bewegung der Flüssigkeit in dem Röhrennetz kommt von diesem theoretisch gesetzten Anfangsstadium nun im wesentlichen dadurch zu stande, daß das Herz durch Ansaugen von Blut aus dem Blutadersystem und Einpressen dieser angesaugten Blutmenge in das Schlagadersystem einen bedeutenden Druckunterschied in den beiden Hauptabschnitten des Gefäßzirkels hervorbringt. Die Blutmenge in der Aorta und in ihren Zweigen wird durch das rasch aufeinander folgende Einpressen von Blut aus dem Herzen vermehrt, die Schlagaderwandungen dadurch in steigender Weise ausgedehnt. Auf der anderen Seite vermindert das Herz durch Ansaugen von Blut aus den großen Venenstämmen in allen Gefäßen des Venensystems die Blutmenge so beträchtlich, daß wenigstens die Wände der großen Schlagadern in der Nähe des Herzens während des Ansaugens durch das Herz nicht nur nicht mehr über ihre normale Lichtung durch ihren flüssigen Inhalt ausgedehnt werden, sondern, nur noch ungenügend gefüllt, selbst eine saugende Wirkung, einen Saugdruck, auf die Blutsäulen in ihren Zweigen ausüben. Durch die Herzthätigkeit steigt in dem Schlagadersystem der Druck, welcher von den mehr und mehr ausgedehnten Wandungen auf das in ihnen befindliche Blut ausgeübt wird; in dem Blutadersystem sinkt dagegen der Druck in entsprechender Weise und verwandelt sich in den großen, dem Herzen nahegelegenen Stämmen und Hauptzweigen der Blutadern sogar zeitweilig in einen wahren negativen oder Saugdruck. Die elastisch gedehnten Schlagaderwandungen pressen nach jeder Zusammenziehung des Herzens stärker auf das in ihnen enthaltene Blut. Da ein Ausweichen der Blutsäule nach dem Herzen zu durch die taschenförmigen Aortenklappen unmöglich gemacht ist, so steht der gepreßten Flüssigkeitssäule nur in der Richtung der Haargefäße ein Ausweg offen. Sind einmal diese zahlreichen kleinen Engpässe durchlaufen und die dort dem Blutlauf sich entgegenstellenden Hinderungen, namentlich die Folgen der starken Flüssigkeitsreibung an den engen Kapillarwänden, überwunden, so tritt das Blut in die weiteren Ästchen und Stämme des Blutadersystems ein, welches genügend Raum zur Aufnahme des Blutes bietet. Indem das Herz immer neue Blutmengen in das schon überfüllte Schlagadersystem hereinwirft, steigt der durch die Spannung der Schlagaderwände auf das Schlagaderblut ausgeübte Druck mehr und mehr, das Blut wird

infolge davon rascher in die Haargefäße eingepreßt. Schließlich erreicht der Druck und durch ihn die Raschheit der Blutbewegung in den Schlagadern und Haargefäßen die Normalhöhe, es strömt dann zwischen zwei Herzaktionen ebensoviel Blut aus dem Haargefäßsystem ab, als durch einen Herzpuls in die Aorta eingepreßt wurde, eine Blutmenge, welche nach den angestellten Messungen normal zwischen 150 und 190 ccm oder Gramm beträgt.

Die Kraft der Wandpressung, des Blutdrucks, ist bei größeren Schlagadern während des normalen Lebens eine geradezu erstaunliche. Wird dem von seiner Wandung gepreßten Schlagaderblut durch die Verwundung eines großen Gefäßes eine weitere Öffnung geschaffen, so spritzt das Blut in hohem Strahl, wie aus einer Feuerspritze, durch den Puls noch rhythmisch beschleunigt, mehrere Fuß hoch und weit hervor, und eine außerordentlich geringe Zeit genügt, um nach solchen Verletzungen das Leben durch Verblutung zu beendigen. Nach exakten Beobachtungen, welche man bei dem Schlachten großer Schlachttiere hat anstellen können, läßt sich der Blutdruck annähernd berechnen, welcher in der Aorta herrscht. Danach würde das Blut aus einer Aortawunde des Menschen über 3 m (3,375 m) hoch senkrecht in die Höhe spritzen. Die Physiker und Techniker verwenden zur Messung des Druckes in einer Röhrenleitung, z. B. in einer Wasserleitung, Instrumente, welche man als Manometer bezeichnet. Es sind U-förmig gekrümmte, meist mit Quecksilber gefüllte Glasröhren, welche mit ihrem einen Schenkel in die geöffnete Röhrenwand luftdicht eingesetzt werden. Die Flüssigkeit, deren Druck in der Röhrenleitung gemessen werden soll, strömt, anstatt frei in die Höhe zu spritzen, in das Manometerrohr und hebt, je nach ihrem stärkeren oder schwächeren Druck, die Quecksilbersäule in dem anderen Schenkel mehr oder weniger in die Höhe. Die Erhebung des Quecksilbers wird an einer Meßskala abgelesen, die an dem Manometerrohr selbst angebracht sein kann. Ein Druck, welcher, wie der in der Aorta herrschende, eine Flüssigkeitssäule über 3 m frei in die Höhe spritzen läßt, hebt die Quecksilbersäule im Manometerrohr um 250 mm. Man erhält den Quecksilberdruck in Blutsäulenhöhe ausgedrückt, wenn man die Höhe der Quecksilbersäule mit 13,5 multipliziert.

Der Blutdruck nimmt, wie sich aus unseren Darlegungen mit Notwendigkeit ergibt, in den Schlagaderverzweigungen mit ihrer zunehmenden Entfernung vom Herzen stetig ab. In der großen Armschlagader ist er bei Amputationen des Armes direkt gemessen worden, er schwankt da zwischen 110 und 120 mm Quecksilber, d. h. er ist, obwohl nicht mehr halb so stark als in der Aorta selbst, immer noch stark genug, um die Blutsäule etwa 1½ m senkrecht in die Höhe zu spritzen. In den Haargefäßen ist der Blutdruck immer nur sehr gering. Umgekehrt wie bei den Schlagadern verhalten sich selbstverständlich die Druckunterschiede in den Blutaderverzweigungen. In den großen, dem Herzen sich nähernden Blutadern hört der positive Blutdruck mehr und mehr und endlich vollkommen auf, er wird zu Null, und am Herzen selbst nimmt er während der Einsaugungsperiode sogar eine negative Größe an, er wird zu einem Saugdruck; dieser macht die Blutaderwände entsprechend zusammenfallen, wie die Wangen einsinken, wenn wir mit dem Munde Flüssigkeit ansaugen. In den entfernteren Blutaderzweigen, in welche beständig vom Kapillarnetze aus Flüssigkeit einströmt, ist der Druck positiv, die Wand noch elastisch gedehnt; aber die Pressung ist überall im Blutadersystem eine sehr viel geringere als im Schlagadersystem.

Unsere Betrachtungen über den Blutdruck waren bisher auf die Verhältnisse an den Schlagadern und Blutadern im großen Kreislaufe beschränkt. Im kleinen Kreislaufe sind die Verhältnisse den eben geschilderten im ganzen entsprechend. Da die Widerstände in der viel kürzeren und räumlich beschränkteren Bahn des Lungenkreislaufes aber entsprechend geringere sind als in dem Aortenkreislaufe, so steigt auch der Blutdruck in den Schlagadern des Lungenkreislaufes nicht zu der im Aortensystem beobachteten Höhe. Der Druck in der gemeinschaftlichen Lungenschlagader ist etwa dreimal geringer als der in der Aorta.

Die Herzarbeit summiert sich in den Schlagadern zu einer beträchtlichen Spannung der Schlagaderwände. Die letztere ist es, welche, durch die Herzarbeit gespannt, direkt die Fortbewegung des Blutes in der Richtung gegen die Organe besorgt. Eine analoge Unterstützung der Rückbewegung des Blutes zum Herzen in den Blutadern kann durch die wenig oder gar nicht gespannten Blutaderwandungen nur in entsprechend geringem Grade stattfinden. Als Hauptursache des Zurückströmens des Blutes aus den Blutadern in das Herz, der Venenblutbewegung, erscheint zunächst die Saugwirkung des sich nach der Kontraktion wieder erweiternden und dabei als Saugpumpe wirkenden Herzens selbst. Zur Sicherung des ungestörten Blutlaufes in den Blutadern wirkt aber noch eine Reihe anderer Hilfsmomente mit, von denen wir schon die rhythmischen Eigenkontraktionen der größten Venenstämme am Herzen erwähnt haben. Vor allem haben wir jedoch hier nochmals des Saugdruckes zu gedenken, welcher von seiten der Lungen auf alle Hohlorgane des Brustraumes ausgeübt wird und die Blutadern desselben ebenso ausdehnt und dadurch mit Blut sich vollsaugen läßt, wie wir ihn dies in dem nach der Zusammenziehung wieder erschlafften Herzen haben thun sehen. Indem bei der Einatmung der Saugdruck in der Brusthöhle steigt, wird auch der Blutzufluß zu den in der Brust eingeschlossenen Schlagadern wie zum Herzen gesteigert. Bei der Ausatmung wird der Saugdruck im Brustraume geringer, und bei angestrengten, überstarken Ausatmungsbewegungen, wie z. B. beim Husten, können die Lungen sogar so stark zusammengedrückt werden, daß sie nicht mehr saugend wirken. Dann sehen wir momentan den Strom des Venenblutes sich in seinen Adern vor deren Eintritt in den Brustraum anstauen. Da das venöse Blut eine dunkel blaurote Farbe besitzt, so scheint es blau durch die ausgedehnten Gefäßwände durch und erteilt namentlich merklich der Haut an Gesicht und Hals jene bläuliche, cyanotische, Färbung, welche besonders stürmischen Hustenanfällen den Namen Blauhusten eingetragen hat. Aber auch die ruhige Atmung bringt infolge der durch sie veranlaßten Schwankungen der Stärke des Saugdruckes im Brustraume ein regelmäßiges Steigen und Sinken des Blutdruckes im ganzen Zirkulationssystem hervor.

Die schlaffen Wandungen der Blutadern fallen schon bei einem geringen äußeren Druck vollkommen zusammen, so daß der Blutstrom in ihnen aufhört. Dazu genügt der Druck, welchen die sie umgebenden Muskeln oder das Abbiegen der Glieder in den Gelenken auf gewisse Blutaderäste ausüben. Bei den vielfachen Zusammenmündungen der Blutadern schlägt dann aber das Blut nun einen anderen der ihm offenstehenden Wege ein, und die zahlreichen Klappenventile in den Blutadern lassen geradezu jeden seitlich auf das Gefäß ausgeübten Druck als eine Unterstützung des Blutlaufes in ihm erscheinen. Einem Rückwärtsströmen des Blutes gegen das Kapillarnetz stellen sich die Venenklappen hindernd in den Weg, durch äußeres Zusammenpressen kann daher das Blutaderblut nur vorwärts, dem Herzen zu, also in seiner normalen Strömungsrichtung, gepreßt werden. Die Venenklappen finden wir deshalb vorzüglich häufig in den Blutadern jener Körperregionen, bei welchen, wie bei den Armen und Beinen, öfters ein äußerer Druck auf die Blutadern, namentlich durch Muskelbewegungen, eintritt. Muskelbewegung beschleunigt also an sich den venösen Blutlauf. Bei jenen Blutadern, welche annähernd senkrecht nach abwärts dem Herzen zustreben, unterstützt auch die Wirkung der Schwerkraft das Abströmen der Flüssigkeit. Wenn es uns zu Heilzwecken darauf ankommt, das Blut rascher aus einem Organ abströmen zu lassen, eine Stauung des venösen Blutes in ihm zu hindern, so erweist sich eine erhöhte Lage des betreffenden Körperteiles, so daß die Schwerkraft den Blutaderstrom zu unterstützen vermag, oft mehr und dauernder helfend als örtliche Blutentziehungen, z. B. durch Schröpfköpfe oder Blutegel.

Dieselben Momente, welche wir die Blutbewegung in den Venen bewirken sehen, kommen auch bei der Lymphbewegung zur Geltung. Die Lymphgefäße erscheinen ja als ein Anhang des Blutadersystems, indem sie in dessen Hauptstämme direkt einmünden. Die Saugwirkung des

Herzens und Brustraumes macht sich auf die Flüssigkeitsbewegung in den Lymphgefäßen ebenso geltend wie auf jene in den Blutadern, und alles bei diesen über die fördernde Wirkung der Klappeneinrichtungen Gesagte gilt für die noch zahlreicheren Lymphgefäßklappen in noch erhöhtem Maße. An den kapillaren Wurzeln der „Chylusgefäße" im Verdauungskanal, in den Darmzotten werden wir noch spezielle kleine Pumpeneinrichtungen kennen lernen, welche durch Druck und Einpressen von Flüssigkeit von den dortigen Lymphgefäßwurzeln aus die Flüssigkeitsströmung unterstützen. An den Einmündungsstellen der beiden Lymphgefäßhauptstämme stehen halbmondförmige Klappenventile, welche das Eindringen von Blutaderblut in die Lymphgefäßstämme unmöglich machen, während sie dem Eintritt der Lymphe in die Blutadern kein Hindernis in den Weg stellen.

Die Herzarbeit.

Wie für wohlkonstruierte technische Maschinen, so sind wir nach den jetzigen Erfahrungen der Physiologie auch im stande, für den Menschenkörper die Summe von Arbeitskraft zu bestimmen, welche ihm für seine mechanischen Leistungen zur Verfügung steht. Ebenso gelingt es ohne Schwierigkeit, die Arbeitsgröße zu berechnen, die z. B. ein Arbeiter in einer bestimmten Zeit mittels Muskelthätigkeit, etwa durch Heben einer Last, leistet. Aber der Einblick in das Getriebe der animalen Maschine des Menschenleibes reicht noch viel tiefer; wir können die Summe von Arbeitsleistung mathematisch feststellen, welche der mechanischen Arbeit besonders lebenswichtiger Organe entspricht. Durch die Berechnung der mechanischen Arbeitsleistung, die das Herz als Motor der Blutbewegung nur während eines Tages ausübt, erhalten wir einen überraschenden Einblick in die quantitativen Leistungen, welche unser Organismus während der ganzen Zeit unseres Lebens von einem seiner Organe verlangt. Wir können, wenn wir für eine bestimmte Zeit die aus dem Herzen herausgepreßte Blutmenge und den Druck kennen, unter welchem sie aus dem Herzen ausströmt, die verbrauchte Kraft des Herzens in Kilogrammmetern (kgm) ausdrücken, d. h. angeben, wieviel Kilogramm Gewicht durch die Herzarbeit in einer gegebenen Zeit bis zu 1 m Höhe gehoben werden können. Wir machen dabei die Voraussetzung, daß die Zusammenziehung der muskulösen Herzwandung die alleinige Kraftursache sei, welche das Blut aus dem Herzen treibt. Sicher tritt auch in Wahrheit die Wirkung der elastischen Kräfte der Kammern und Vorkammern gegen die der aktiven Muskelzusammenziehung, der Kontraktion, vollkommen in den Hintergrund.

Die Blutmenge, welche während einer Herzkontraktion, einer Systole, aus jeder der beiden Herzkammern ausgetrieben wird, ist die gleiche und beträgt nach unserer obigen Angabe etwa 180 g = 0,18 kg. Der mittlere Blutdruck in der Aorta beläuft sich, wie erwähnt, auf etwas mehr als 3,3 m Blutsäulenhöhe. Die gesuchte Arbeitsgröße ist nun für jede Systole der linken Herzkammer 0,18 × 3,3 kgm, gleich rund 0,6 kgm. Da auf die Minute im Durchschnitt 75 Herzpulsationen kommen, berechnet sich die Arbeitsleistung des linken Herzens allein auf rund 65,000 kgm in einem Tage. Der Blutdruck in der gemeinschaftlichen Lungenschlagader ist aber etwa dreimal schwächer als in der Aorta, somit ist die Arbeitsleistung des rechten Herzens nur ein Drittel so groß als die von dem linken Herzen in der gleichen Zeit ausgeübte Arbeit, also rund etwa 22,000 kgm. Die ganze Summe der Herzarbeit beträgt sonach in einem Tage 87,000 kgm, d. h. durch Verwendung der gleichen Arbeitssumme, welche das Herz während 24 Stunden ausübt, können wir 1 kg 87,000 m hoch heben oder, was dasselbe ist, 87,000 kg 1 m hoch. Die Größe dieser Arbeitsleistung des jahraus jahrein rastlos arbeitenden Organes wird

uns erst recht anschaulich, wenn wir hören, daß die größte äußere mechanische Arbeitsleistung eines Arbeiters in 8 Arbeitsstunden etwa 320,000 kgm beträgt. Das Herz leistet mehr als ein Viertel der mechanischen Arbeitssumme, welche ein angestrengter Arbeiter während eines vollen Arbeitstages zu leisten vermag.

Die gesamte Herzarbeit wird durch die Widerstände im Gefäßsystem, durch die innere Reibung, verbraucht und in Wärme verwandelt.

Die Geschwindigkeit der Blutbewegung.

Mit der Abnahme des Blutdruckes in den vom Herzen weiter entfernten Schlagaderzweigen und mit der zunehmenden Erweiterung des Strombettes der Blutbahn hängt es notwendig zusammen, daß in ihnen die Geschwindigkeit der Blutbewegung in entsprechendem Grade abnimmt; umgekehrt ist es bei den Blutadern. Über die sehr verschiedene Geschwindigkeit der Blutbewegung in den drei Hauptblutgefäßabschnitten haben uns die Beobachtungen des Blutlaufes unter dem Mikroskop direkte Anschauungen gegeben. Die Bewegung ist am rascheſten in den Schlagadern und wird hier durch den Puls noch rhythmisch beschleunigt; weniger rasch ist die Bewegung in den Blutadern und am langsamsten in den Haargefäßen. In der Halsschlagader durchläuft das Blut in der Sekunde eine Wegstrecke von etwa 0,3 m = 300 mm, in unseren Kapillaren dagegen nur 0,0008 m = 0,8 mm. In den größeren Blutadern ist die Geschwindigkeit der Blutbewegung etwa um die Hälfte bis zu zwei Dritteln geringer als in den ihnen entsprechenden Schlagadern.

Wir haben gesehen, daß mit dem Zerfall der Schlagadern in feine und feinere Äste sich das Strombett mehr und mehr erweitert, da die Summe der Aströhrenquerschnitte fast ausnahmslos größer ist als der Querschnitt der Stammröhre. Umgekehrt verengert sich das Strombett des venösen Kreislaufes mit der Annäherung an das Herz mehr und mehr aus derselben Ursache. Der weiteste Abschnitt des Gesamtquerschnittes der Blutbahnkanäle ist also der, in welchem sich die engsten Gefäße finden, die Kapillarstrecke. Nach den physikalischen Beobachtungen über Flüssigkeitsbewegungen in Röhren von verschiedenem Querschnitt der Lichtung verhält sich nun aber die Stromgeschwindigkeit umgekehrt wie die Querschnittgrößen der Lichtung. Wir werden daher auch aus dieser Ursache eine Verlangsamung des Blutstromes in den Schlagadern eintreten sehen, je mehr sie sich verästeln und dadurch das Gesamtstrombett der Blutbahn erweitern; dagegen tritt bei den Blutadern eine Beschleunigung der Blutbewegung ein, wenn sich das Blut aus den Zweigen und Ästen in immer engere Hauptkanäle zusammendrängt. Am langsamsten muß der Blutlauf in der Kapillarstrecke sein, da hier, wie gesagt, die gesamte Blutbahn am weitesten ist.

Da wir die Gesamtblutmenge eines Menschen annähernd genau kennen und wissen, wieviel Blut durch einen Herzpuls in die Aorta ausgetrieben wird, so gelingt es uns leicht, auch die Zeit wenigstens annähernd genau zu berechnen, welche die gesamte Blutmenge braucht, um einmal den Kreislauf vollkommen zurückzulegen.

Da eine Systole des Herzens ungefähr 180 g Blut in die Aorta einpreßt und das Herz etwa 70—75mal in der Minute schlägt, so strömen, wenn wir die niedrigere Pulszahl annehmen, in der Minute doch 180 × 70 = 12,600 g Blut aus dem Herzen in die Aortenmündung ein. Die Gesamtmenge des Blutes eines erwachsenen Menschen beträgt, wie wir oben angaben, 5000 g. Um diese Gesamtblutmenge auszutreiben, wird das Herz daher nicht mehr als 23 bis 24 Sekunden bedürfen, nach anderer Berechnungsmethode sogar nur 22½ Sekunden.

Diese Kreislaufszeit verändert sich nach Zahl und Stärke der Herzpulse. Bei Kindern, welche einen rascheren Herzpuls besitzen als Erwachsene, ist die Kreislaufszeit etwas geringer als bei Erwachsenen; auch können wir sie an uns selbst durch stärkere Muskelbewegungen, welche die Herzthätigkeit rascher und zugleich stärker machen, beträchtlich abkürzen. Dagegen ist in fieberhaften Krankheiten die Herzaktion zwar rascher, aber schwächer als in gesunden Tagen; die Kreislaufszeit wird daher durch Fieber nicht abgekürzt, sondern oft sogar verlängert.

Der Arterienpuls.

Unter den äußerlich wahrnehmbaren Vorgängen im Blutgefäßsystem des lebenden Menschen ist unstreitig der auffallendste der Puls, das rhythmische Schlagen der Arterien, welche ja von dieser Erscheinung den Namen Schlagadern erhalten haben. Die lebhaften Veränderungen des Pulses, welche die Blutbewegung jeder veränderten seelischen und körperlichen Stimmung anpassen, ihr unverkennbarer Zusammenhang mit der Herzbewegung und ihre Abhängigkeit vom Nervensystem haben die Pulsbeobachtung seit den Zeiten der klassischen Kulturperiode Griechenlands Ärzten und Nichtärzten als eins der entscheidendsten Hilfsmittel erscheinen lassen, um sich über innere krankhafte Zustände des Menschenkörpers zu unterrichten. Und gewiß spiegeln sich im Pulse wie kaum in irgend einer anderen Thätigkeit des Organismus die Schwankungen der inneren Zustände ab, deren Kenntnis der Arzt so notwendig zur Feststellung seiner Handlungsweise am Krankenbett bedarf. So kann es uns nicht wundernehmen, wenn die ältere ärztliche Schule eine Pulslehre auszubilden suchte, durch welche das wechselnde Klopfen der Schlagadern wie Depeschen aus dem Inneren des Körpers sollte verstanden werden können, so wie der Telegraphist die wechselnden Bewegungen und Geräusche des klopfenden Telegraphenapparates als ein vollkommen deutliches Gespräch aus der Ferne mit dem Ohre auffaßt. Wenn die neuere Medizin auf die Sprache des Pulses weniger Wert zu legen scheint, so beruht das vorzüglich auf der Erfahrung, daß eine größere Anzahl verschiedener Einflüsse auf die Pulsbewegung existiert, welche diese in annähernd gleicher Weise verändern. Aber doch nur der Ungeübte ist dadurch gröberen Täuschungen ausgesetzt.

Im allgemeinen finden wir die Zahl der Pulsschläge während einer Zeiteinheit in fieberhaften Krankheiten erhöht, der „Puls“ kann dann anstatt seiner bei Erwachsenen ziemlich regelmäßigen 70 oder 75 Schläge 80, 90, 100 und mehr Schläge in der Minute ausführen. Aber fühlen wir z. B. einem lebhaft empfindenden jugendlichen Manne den Puls in dem Augenblicke, in welchem er das Kommen seiner Geliebten erwartet, so glauben wir nach dem heftigen Jagen des Pulses einen an hitzigem Fieber Erkrankten vor uns zu haben. Bei sensibeln Kranken, namentlich weiblichen Geschlechtes, bringen schon das Hereintreten des ersehnten Arztes in das Krankenzimmer, das Aufrichten im Bette und anderes eine beträchtliche Beschleunigung des Pulsrhythmus hervor. Jede körperliche Anstrengung, jede Sinnesempfindung, jede psychische Bewegung reflektiert sich auf den Puls der Schlagadern ebenso, wie wir das schon für die Herzbewegung dargelegt haben. Und dazu kommt noch die Erfahrung, daß namentlich vom Gehirn ausgehende Erregungen, aber ebenso auch Sinneserregungen und Reizungen der Eingeweide unter Umständen in verschiedenem Sinne, beschleunigend und verlangsamend, auf Herzbewegung und Puls wirken können.

Der Puls erscheint als eine Art Wellenbewegung der elastischen Schlagaderwand. Die Wirkung der hohen Spannung der Schlagaderwandungen und des von diesen auf die in ihnen enthaltende Blutmenge ausgeübten Druckes ist, wie wir wissen, ein ununterbrochenes Abfließen

des Schlagaderblutes durch die Haargefäße in die Blutadern. Der durch diesen Abfluß eintretende Verlust an Blut im Schlagadersystem wird diesem dadurch ersetzt, daß vom Herzen her rhythmisch nach kurzer Pause die gleiche Menge von Blut wieder in den Anfangsteil des arteriellen Röhrensystems eingepreßt wird, welche aus dessen Endabschnitt während der Pause der Herzbewegung in die Kapillaren abgeflossen ist. Die Blutbewegung in den Schlagadern setzt sich sonach aus zwei getrennten Vorgängen zusammen. Einmal sehen wir ein ziemlich konstantes Abfließen des Blutes aus den Schlagadern unter der Einwirkung des von den gespannten Wandungen derselben auf ihren Inhalt ausgeübten Druckes eintreten, welches auch während der Pause zwischen zwei Herzbewegungen unausgesetzt fortgeht. Zu dieser konstanten Strömung kommt aber noch durch das rhythmische Bluteinpumpen des Herzens in die Aorta eine Wellenbewegung hinzu. Durch das rasche Einpressen von Blut wird die Blutmenge, welche die Schlagadern schon enthalten, plötzlich vermehrt, die schon ausgedehnten Wände der Schlagadern noch weiter ausgedehnt; in der Herzpause verengern sich die Arterien wieder durch das Abströmen des Blutes in die Venen. Die plötzliche Ausdehnung ist es, welche der den Puls fühlende Finger als Klopfen der Schlagader empfindet. Der Puls ist eine Wellenbewegung, welche sich in den Schlagadern als eine Drucksteigerung während der Zusammenziehung des Herzens, der Systole, und als eine Druckverminderung während der Erschlaffung des Herzens, der Diastole, zu erkennen gibt. Es ist ohne weiteres verständlich, warum der Puls in den größten und dem Herzen am nächsten gelegenen Schlagadern am stärksten ist. In den kleineren Schlagadern wird er schwächer, und unsere mikroskopischen Beobachtungen des Blutlaufes haben uns gelehrt, daß er in den feinsten Schlagaderzweigen nicht mehr bemerkbar ist, schon ehe sich diese in wahre Haargefäße aufgelöst haben. Man kann an oberflächlich unter der Haut liegenden Schlagadern, z. B. an der Schläfenschlagader bei mageren Personen, mit freiem Auge sehen, daß die durch das Einpressen des Blutes durch die Systole erfolgende Ausdehnung, der Puls, der größeren Schlagadern diese nicht nur in der Weite, sondern auch etwas in der Länge ausdehnt, ebenso wie das beim Einpressen von Flüssigkeit in irgend eine andere, etwa aus Kautschuk bestehende, elastische und stark dehnbare Röhre der Fall ist. Die Pulsausdehnung bedarf einer gewissen kleinen Zeit, um den Weg von der Aorta bis zu den Endzweigen der Schlagadern zurückzulegen. Durch das Einpressen des Blutes vom Herzen aus wird zuerst der Anfangsteil der Aorta ausgedehnt. Sogleich nach dem Aufhören der Einpressung machen sich die elastischen Kräfte der Aortenwandung geltend; sie üben einen Druck auf ihren flüssigen Inhalt aus, welcher ein Wegpressen des eingepumpten Blutüberschusses bewirkt. Nach dem Herzen zu ist der Rückweg durch die mit dem Beginn der Diastole momentan zusammengeklappten halbmondförmigen Klappen versperrt, der Blutüberschuß wird sonach weiter vorwärts, den Aortenverzweigungen zu, gedrängt. Indem sich die Wirkung der elastischen Kräfte auf der ganzen Strecke der arteriellen Blutbahn in jedem folgenden, durch den Zufluß mehr ausgedehnten Schlagaderstücke wiederholt, während die rückwärts gelegenen, zum Teil entleerten Stücke sich dem Blutabfluß entsprechend wieder verengern, läuft die Ausdehnung als ein Wellenberg über die Schlagaderwand hin dem Haargefäßbezirk zu. Dabei nimmt die Kraft der Welle mehr und mehr ab und verschwindet endlich vollkommen.

Die Ursachen des Verschwindens des Pulses in den feinsten Schlagäderchen und Kapillargefäßen sind verschieden. Schon die Bewegung an sich, die bedeutenden Widerstände durch die Reibung an den Gefäßwandungen schwächen die Welle mehr und mehr. Vor allem kommt aber hierbei jene mächtige Erweiterung des Strombettes bis zu den Kapillaren und namentlich in deren Netzen selbst in Betracht. Die Stärke jeder Welle steht mit ihrer Ausdehnung in einem umgekehrten Verhältnis. In den Kapillarnetzen ist das Strombett der Aorta etwa auf das Vierhundertfache erweitert, schon aus diesem Grunde muß daher auch die sichtbare Wellenerhebung 400mal

geringer sein als in der Aorta. Dazu kommt noch, daß der durch die Systole eingepreßte Blutüberschuß sich während des Ablaufes der Welle über die Arterienverzweigungen durch den konstanten Abfluß in das Blutadersystem immer mehr verringert, bis er endlich ganz weggeschafft ist.

Man kann das Fortschreiten der Pulswelle über die Schlagadern mit Hilfe sehr feiner chronometrischer Vorrichtungen auf das schärfste messen. Die Pulswelle pflanzt sich in der Sekunde um 6—9 m fort. Wir dürfen uns also die Pulswelle nicht als eine kurze, längs der Arterie fortrollende Welle vorstellen. Jede Pulswelle ist so langgestreckt, daß auf der ganzen Strecke von der Aorta bis zu den Zehenspitzen keineswegs eine einzige ganze Welle Platz hat. Eine Zusammenziehung des Herzens dauert etwa 1/3 Sekunde. Der Anfang der Pulswelle ist also danach schon etwa 3 m fortgeschritten, während ihr Ende in der Aorta entsteht. Die Folge davon ist, daß durch den Puls vom Herzen zu den Endzweigen das ganze Schlagadersystem sehr rasch ausgedehnt wird, während es sich danach, ebenfalls von dem Endstück der Aorta am Herzen beginnend, etwas langsamer wieder verengert. Übrigens beginnt die Welle erst etwa 0,06—0,09 Sekunde nach dem Herzstoß.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle, welche nach unseren Angaben als eine Wellenbewegung der Arterienwand erscheint, ist also keineswegs identisch mit der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes. Die Strömung in den Schlagadern nimmt unter dem Drucke der Schlagaderwandungen ihren regelmäßigen Verlauf, welcher durch den Puls, d. h. durch das Einpressen des Blutes in die Arterien, nur etwas beschleunigt, in der Herzpause dagegen entsprechend verlangsamt wird. Man kann die Schlagadern mit der Windlade einer Orgel vergleichen, welcher die Aufgabe zufällt, die vom Blasebalg rhythmisch eingepumpte Luft in sich anzuhäufen und sie dann unter einem hohen und annähernd gleichmäßigen Drucke in alle mit ihr in offener Verbindung stehenden Orgelpfeifen einzupressen. Ähnlich wirkt die elastische Pressung der Luft im Windkasten der Feuerspritzen, welcher ebenfalls die rhythmische Flüssigkeitseinpressung durch die Pumpe in einen konstant aus der Schlauchmündung spritzenden Wasserstrahl umwandelt.

Man hat sehr sinnreiche Instrumente erfunden, unter denen der von Marey angegebene Pulsmesser besonders zweckentsprechend ist, mit deren Hilfe man die Pulsbewegung und sogar die einzelnen Abschnitte, in welche der zeitliche Verlauf eines Einzelpulsschlages zerfällt, sehr genau messen und in Form von Kurven sich automatisch aufzeichnen lassen kann.

Damit hat man gefunden, daß die Zeit der Pulsausdehnung der Schlagader durchschnittlich etwas kürzer dauert als die Zeit der Verengerung; das Verhältnis ist etwa wie 100:106. Die Zeitdauer der einzelnen aufeinander folgenden Pulsschläge kann bei einem und demselben Individuum um mehr als ein Drittel differieren. Auch die Höhe, um welche die Schlagaderwand durch die Pulsausdehnung gehoben wird, die Pulsgröße, kann in aufeinander folgenden Pulsschlägen fast um das Doppelte schwanken. Der Puls ist meist größer, wenn er selten und träge ist; klein und dann oft auch häufiger wird er bei Verminderung der Herzkraft und bei größeren Widerständen im Strombett des Schlagaderblutes. Auch die Häufigkeit des Pulses, die Pulsfrequenz, kann, wie wir schon mehrfach hervorgehoben haben, bei demselben gesunden Individuum beträchtlich wechseln. Namentlich bewirken Veränderungen im Rhythmus der Atemzüge auch Veränderungen der Pulshäufigkeit.

Trotz all dieser Einflüsse ist es gelungen, eine Reihe allgemeiner physiologischer Gesichtspunkte bezüglich der Häufigkeit des Pulses aufzufinden. Namentlich zeigt sich die Pulsfrequenz nach dem Alter des Individuums verschieden. Sie nimmt von der Geburt bis zum Mannesalter ab, um von da an wieder etwas zuzunehmen. Während der Puls des Säuglinges in der Minute etwa 134mal schlägt, sinkt diese Anzahl mit dem zunehmenden Älterwerden beträchtlich, zwischen dem 20. und 24. Lebensjahre zeigt der Puls eine mittlere Häufigkeit von

71 Schlägen. Von dieser Lebensperiode an bleibt die Pulsfrequenz dann längere Zeit die gleiche, im 55. Lebensjahre steigt sie im Mittel auf 72, im 80. auf 79 Schläge. An größeren Personen hat man öfters einen etwas selteneren Puls beobachtet als an kleineren; von einer regelmäßigen Abnahme der Pulshäufigkeit mit der zunehmenden Körpergröße, wie sie Quételet als ein Gesetz der Physiologie gefunden zu haben glaubte, kann nun aber nach den vieltausendfachen Beobachtungen von Gould und Baxter an nordamerikanischen Soldaten aus allen in Nordamerika vorkommenden Rassen nicht mehr die Rede sein. Männer haben meist, wie es scheint, einen etwas selteneren Puls als Frauen. Bei demselben Individuum schwankt die Häufigkeit des Pulses nach der Körperstellung, durch Liegen verlangsamt er sich und wird durch Aufstehen schneller. Am Morgen schlägt der Puls schneller als am Abend, auch nach dem Essen steigt die Pulsfrequenz etwas. Man hat bis jetzt ohne genügende Begründung behauptet, daß von Pflanzenkost lebende Menschen einen etwas langsameren Puls besäßen als von Fleischkost lebende. Vor allem aber steigert Muskelthätigkeit, namentlich Laufen, die Pulsfrequenz und zwar oft um das Doppelte und mehr. Auch bei größerer äußerer Wärme soll die Pulsfrequenz etwas zunehmen. Den Einfluß des Luftdruckes auf den Puls werden wir im Zusammenhang mit dem Einfluß auf die Atmung betrachten.

Um die etwa bestehenden Unterschiede in der Häufigkeit des Pulses bei verschiedenen Rassen exakt feststellen zu können, bedarf es Untersuchungen an sehr zahlreichen Individuen unter möglichst gleichen Lebensverhältnissen. Solche Untersuchungen besitzen wir aus der amerikanischen Statistik Goulds. Er fand bei den in Amerika von ihm untersuchten Individuen militärdiensttauglichen Alters folgende Mittelwerte:

bei 708 Mulatten	. . . . . .	76,97 Pulse in der Minute,
„ 503 Indianern	. . . . . .	76,31 „ „ „ „
„ 8284 weißen Soldaten	. . . .	74,84 „ „ „ „
„ 1503 Vollblutnegern	. . . .	74,02 „ „ „ „

Das Wachstum des Herzens und der großen Blutgefäße.

An unsere Betrachtungen über die physikalischen Thätigkeiten des Herzens und der Blutgefäße schließen wir einen Blick auf den normalen Verlauf der Wachstumserscheinungen dieser lebenswichtigen Organe. Von der Geburt bis zur Vollendung der Geschlechtsreife vollzieht sich nach den Beobachtungen von Beneke eine vollständige Umkehr des relativen Verhältnisses, welches zwischen der Größe des Herzens und der Weite des Schlagadersystems besteht. In der Periode des kindlichen Alters finden wir ein vergleichsweise kleines Herz neben relativ weiten Schlagadern. Dieses Verhältnis ändert sich nur wenig bis zum Eintritt der Geschlechtsreife. Mit dem gleichzeitig gesteigerten Längenwachstum sehen wir von dieser Periode an die Weite der Schlagadern in geringerem, die Größe des Herzens dagegen in höherem Maße zunehmen, so daß wir nach vollendeter Geschlechtsentwickelung ein vergleichsweise großes Herz neben relativ engen Schlagadern haben. Im ersten Kindesalter verhält sich das Volumen des Herzens zur Weite der aufsteigenden Aorta im Mittel wie 25 : 20, schon vor Eintritt der Geschlechtsreife wird dieses Verhältnis wie 140 : 50, um im erwachsenen Alter auf 290 : 61 zu steigen. Innerhalb dieses Rahmens, und ohne das gesetzmäßige Verhalten zu verwischen, bestehen aber sehr beträchtliche individuelle Schwankungen der relativen Herzentwickelung. Wie außerordentlich wichtig dieses Verhalten für die Blutbewegung und Körperernährung in den verschiedenen Lebensaltern sein müsse, leuchtet ohne weitere Auseinandersetzungen ein, ebenso wie bedeutend die Folgen auch für

ein sonst gesundes Individuum sein werden, wenn die normale Größenentwickelung des Herzens nicht voll eintritt. Sicher erklären uns diese Beobachtungen einen Teil der Unterschiede, welche zwischen der Widerstandsfähigkeit verschiedener Personen äußeren krankmachenden Einflüssen gegenüber in so auffallender Weise bestehen. Die höhere oder niedrigere Disposition der verschiedenen Lebensalter, Geschlechter, Stände für gewisse Erkrankungen basiert gewiß zum Teil auf dieser Ursache, und es ist mehr als wahrscheinlich, daß entsprechende Verhältnisse auch bei den Verschiedenheiten in der Physiologie und Pathologie der verschiedenen Menschenrassen eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen.

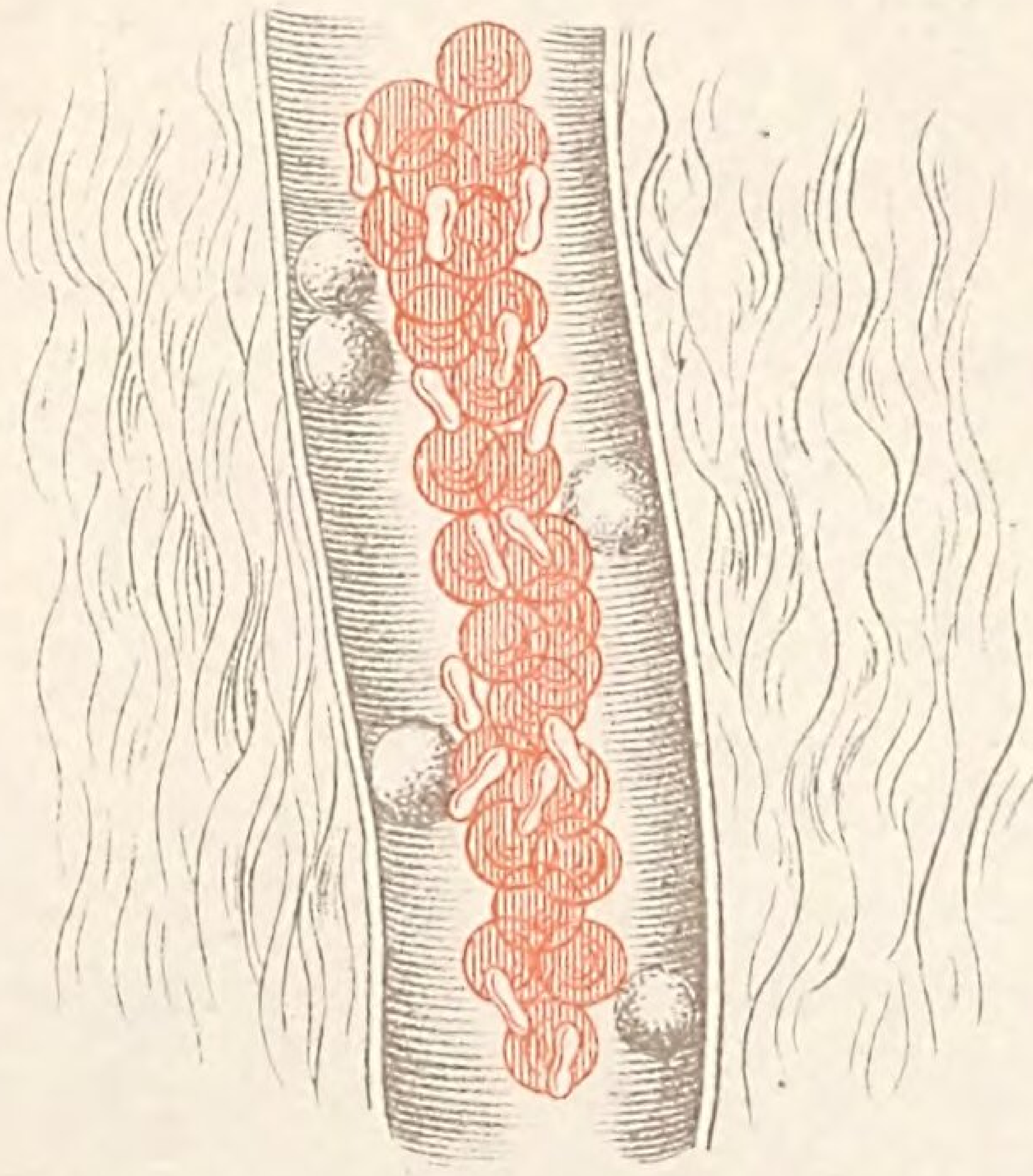
Die Zusammensetzung des Blutes. Blutmenge.

Die mikroskopische Beobachtung des Blutlaufes hat uns nicht nur über die Bewegung, sondern auch schon über die Zusammensetzung des Blutes sehr wesentliche Aufschlüsse erteilt.

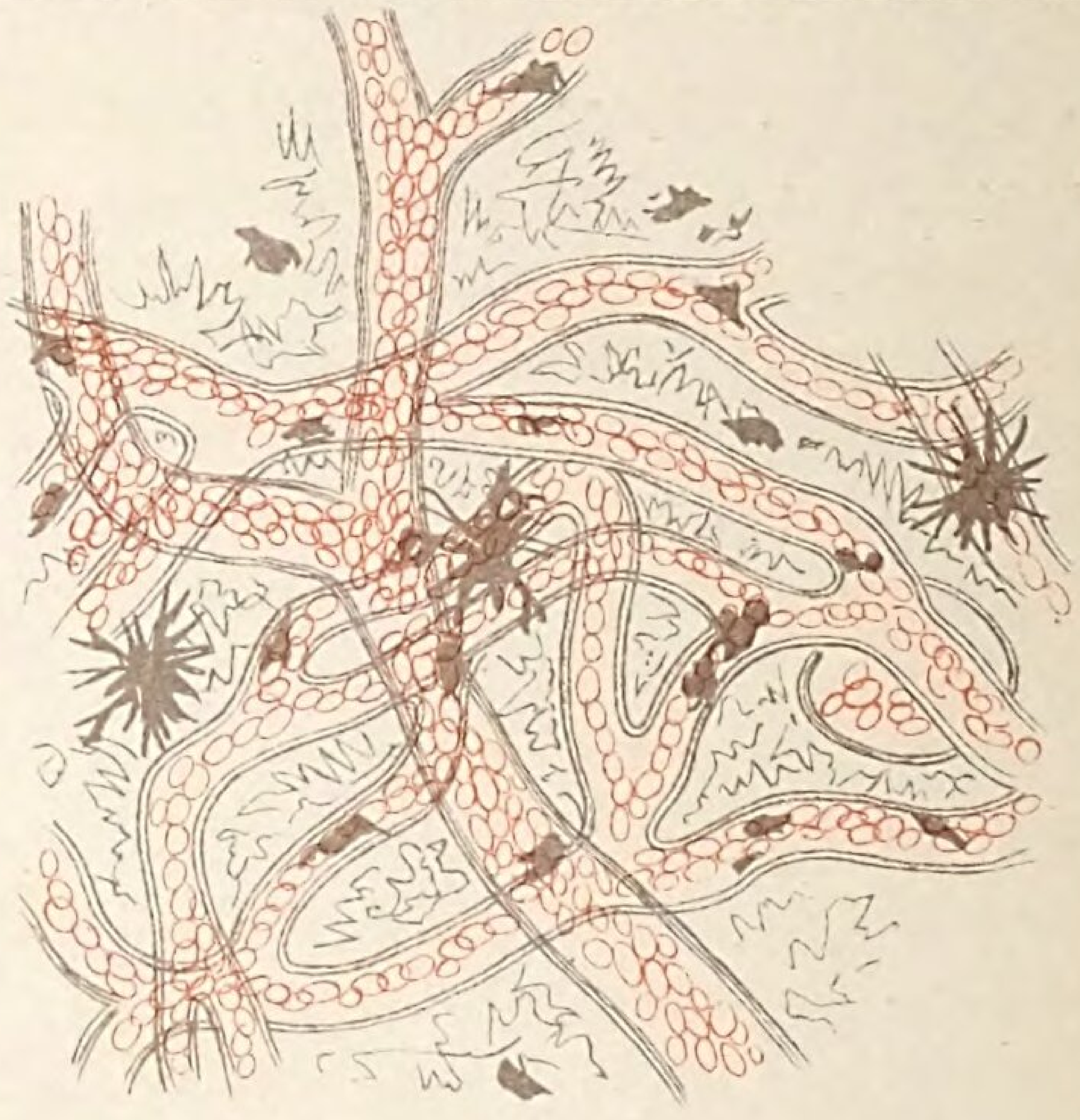
Das Blut ist keine homogene, gleichmäßige Flüssigkeit, wie es frisch, mit freiem Auge betrachtet, sich darstellt. Das vollkommen lebensfrische Blut besteht aus einer durchsichtigen, klaren, fast farblosen Flüssigkeit, dem Blutplasma, in welcher zahlreiche rundliche, mikroskopische Körperchen, die Blutkörperchen, schwimmen. Die Mehrzahl derselben sind rötlichgelb gefärbte Scheibchen, deren Farbe, in Masse vereinigt, dunkelrot erscheint. Das sind die uns schon bekannten „roten Blutkörperchen“. Sie allein bedingen die rote Blutfarbe. In weit geringerer Anzahl als die roten Blutkörperchen finden sich im Blute etwas größere weiße oder, besser gesagt, farblose, im allgemeinen kugelige Körperchen, die „weißen oder farblosen Blutkörperchen“ (s. die beigeheftete Tafel „Mikroskopie des Blutes“).

Eine Eigenschaft der Blutkörperchen, namentlich der roten, tritt bei der mikroskopischen Untersuchung des Blutlaufes in auffallender Weise zu Tage, es ist das ihre hohe Elastizität und Dehnbarkeit, ihre Fähigkeit zu elastischer Gestaltsveränderung. Die Blutkörperchen zwängen sich mit Leichtigkeit durch Haargefäße, deren Lichtung beträchtlich geringer ist als der normale Durchmesser eines Blutkörperchens. Bei solchem Hindurchzwängen durch die Engpässe der Kapillaren werden die Blutkörperchen vorübergehend elliptisch, selbst stäbchenförmig. An vorspringenden Gewebekanten, um welche sich die Haargefäße scharf herumbiegen, namentlich aber an scharfen Teilungsstellen zweier Kapillargefäße sehen wir unter dem Mikroskop oft genug, wie ein einzelnes rotes Blutkörperchen einen Augenblick hängen bleibt, dann vom Blutstrom nach den beiden Richtungen, die in der Verzweigung des Haargefäßes offenstehen, hingezogen und gedehnt wird, wie dabei das Mittelstück des Blutkörperchens fast fadenförmig ausgezogen wird, während die beiden Enden keulenförmig anschwellen, und wie es endlich durch den Stoß eines direkt einem der beiden kapillaren Zweige zugewendeten folgenden Blutkörperchens weitergetrieben wird, um, sowie ihm der Raum dazu gegeben ist, seine normale Gestalt wieder anzunehmen.

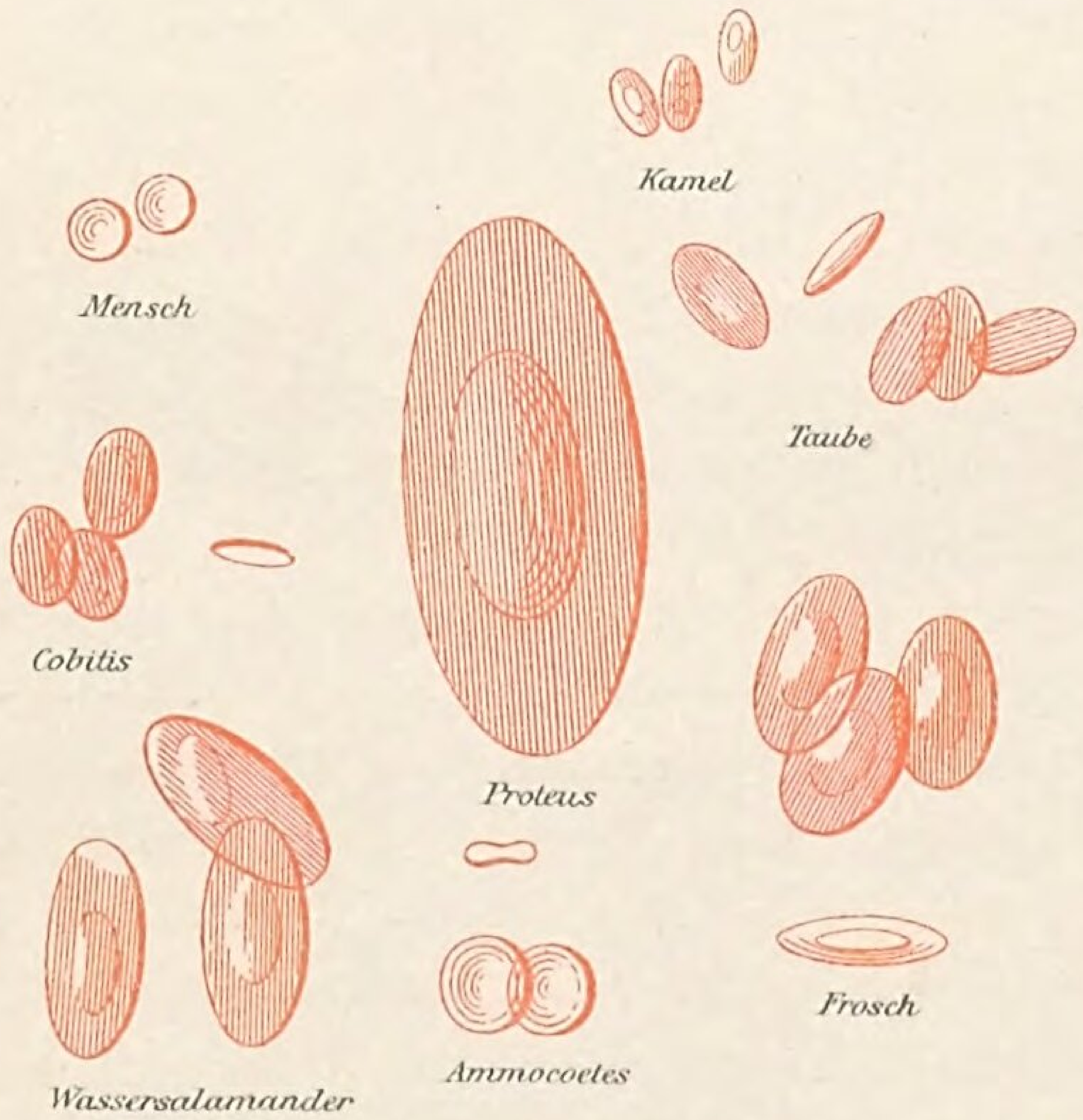
Die roten Blutkörperchen erscheinen im Menschenblut, wenn wir sie in dünnen Blutschichten vereinzelt unter dem Mikroskop beschauen, als flache, runde Scheibchen mit abgerundetem Rande, von beiden Flachseiten her tellerförmig eingedrückt. Es sind bikonkave, rundliche Scheibchen, etwa von der Gestalt runder, bikonkaver Brillengläser, wie sie Kurzsichtige zu tragen pflegen. Sehen wir sie nicht von einer ihrer breiten Flächen, sondern auf den Rand gestellt, so erscheinen sie uns, da ihr Dickendurchmesser gegen den Breitendurchmesser wesentlich zurückbleibt, als kleine, an dem obern und untern Ende abgerundete Stäbchen. Der konkave Eindruck auf beiden Flachseiten spricht sich bei dieser Ansicht in einer leichten, biskuitförmigen Einschnürung in der Mitte dieser scheinbaren Stäbchen aus. Das gleiche Bild erhalten wir von den roten Blutkörperchen,



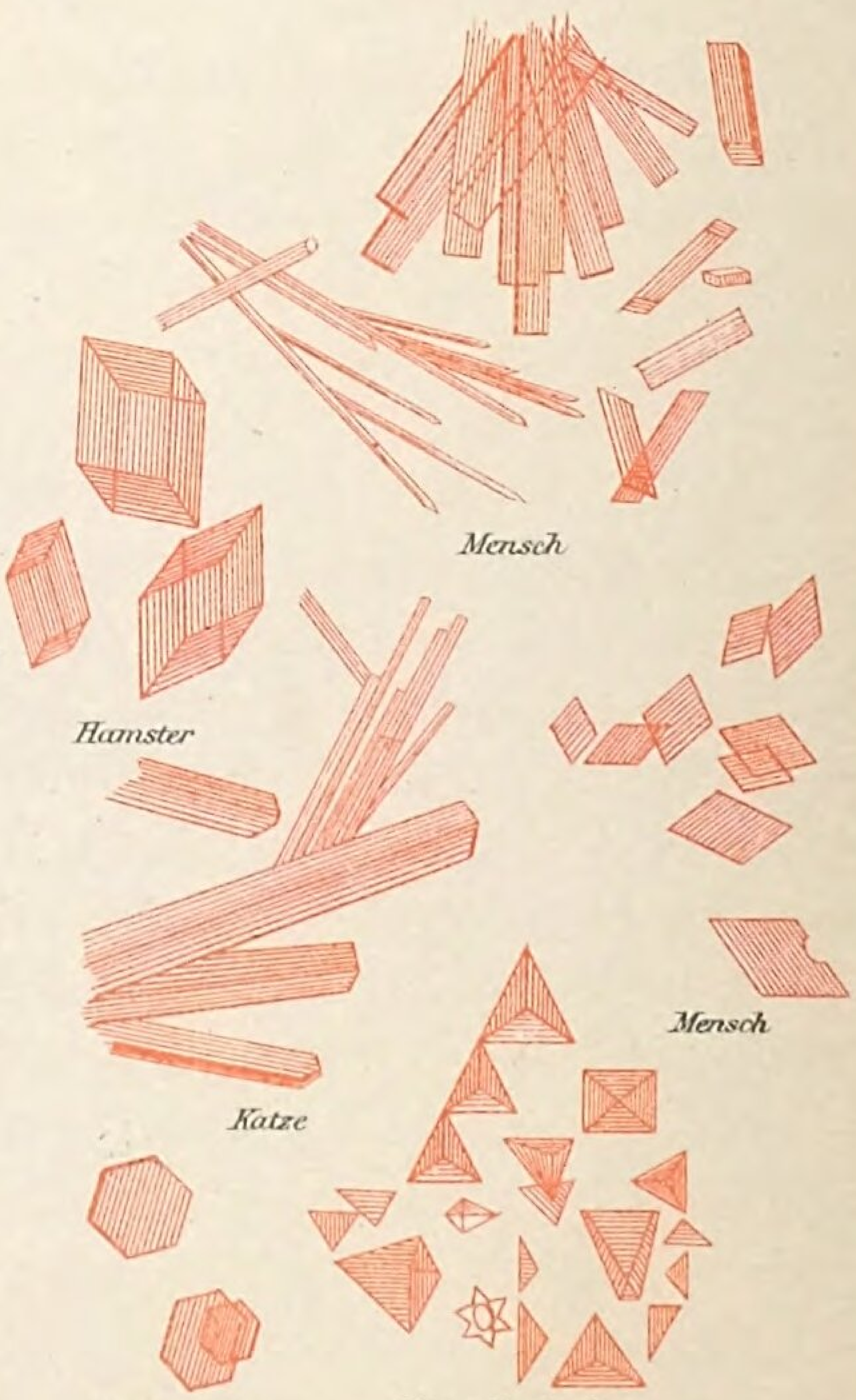
Blutkreislauf unter dem Mikroskop
(starke Vergrößerung).



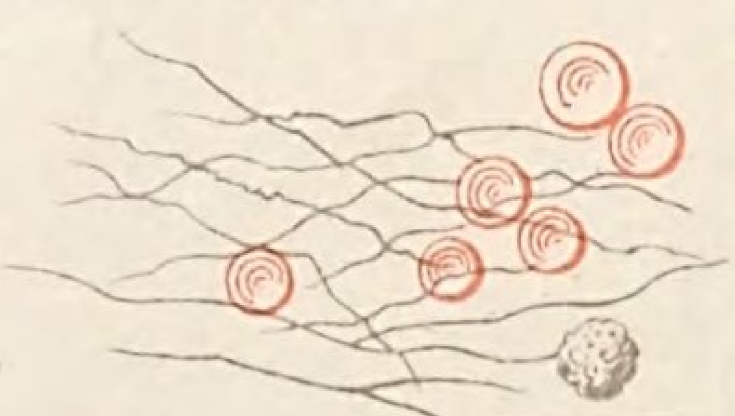
Blutkapillaren der Frosch-Schwimmhaut
(schwache Vergrößerung).



Rote Blutkörperchen verschiedener Wirbeltiere



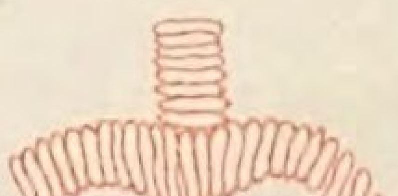
Blutkristalle verschiedener Tiere.



Rote und ein weißes Blutkörperchen in Faserstoff-Gerinnsel.



Geschrumpfte Blutkörperchen.



Rote Blutkörperchen, geldrollenförmig aneinander gelagert.



Rote Blutkörperchen, von der Fläche und seitlich gesehen, ein weißes.

Blutkörperchen des Menschen.

MIKROSKOPIE DES BLUTES.

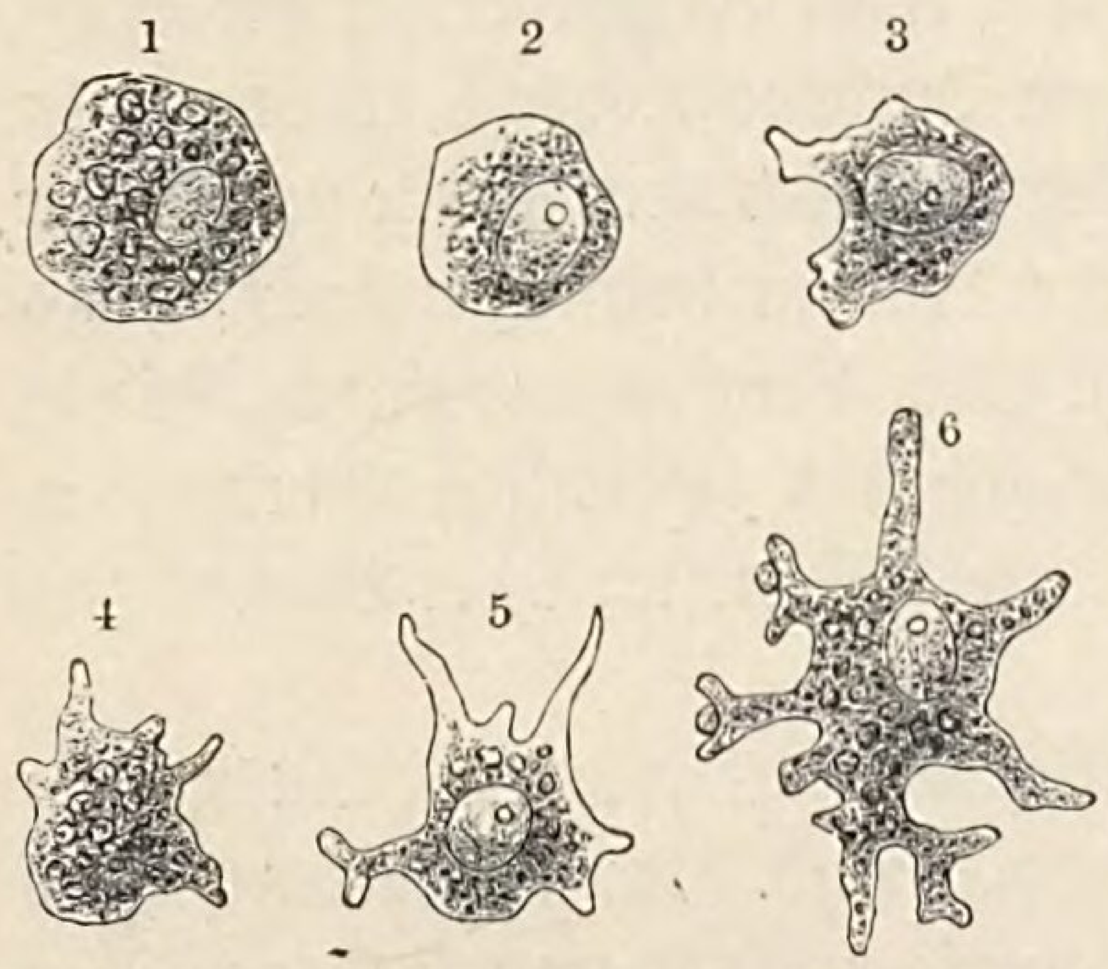
wenn wir nicht Menschenblut, sondern Blut von Säugetieren der Betrachtung unterwerfen. Nur im Blut der Lamas, Alpakos und Kamele sind die roten Blutscheibchen nicht rund, sondern oval. Dagegen ist die ovale Form der roten Blutkörperchen bei allen sonstigen Wirbeltierklassen die typische. Vögel, Reptilien, Amphibien und Fische haben ovale Blutkörperchen; nur bei sehr niedrig stehenden Fischen, den Cyklostomen, findet sich die kreisrunde Form der Blutscheibchen wieder, wie bei der Mehrzahl der Säugetiere. Die Blutflüssigkeit der wirbellosen Tiere besitzt zahlreiche farblose, den weißen Blutkörperchen des Menschen und der Wirbeltiere entsprechende, dagegen keine roten Blutkörperchen.

In einem Blutstropfen, der uns zur Untersuchung vorliegt, können wir außer der Form der roten Blutkörperchen auch ihre Größe bestimmen. Im allgemeinen ist der Größenunterschied zwischen den roten Blutkörperchen des Menschen und der Säugetiere auffallend gering. Nach den Messungen von Welcker beträgt die Breite der menschlichen Blutkörperchen im Mittel 0,0077 mm, ihre Dicke nur 0,0019 mm. Die Blutkörperchen der Mehrzahl der Säugetiere sind etwas kleiner, die des Elefanten sollen etwas größer sein. Die roten Blutkörperchen der Vögel, deren ovale Gestalt wir vorhin erwähnten, haben einen langen Durchmesser von 0,0174 mm; ihre Breite beträgt 0,0145 mm. Die roten Blutkörperchen der Reptilien sind noch länger und breiter, die der Frösche sind 0,02 mm lang und 0,01 mm breit. Bei dem merkwürdigen durchsichtigen Froschlurch der Höhlengewässer im Karstgebirge Krains, dem Olm, Proteus anguineus, sind die roten Blutkörperchen so groß, daß sie ein scharfes Auge als glänzend gelbrötliche Pünktchen erkennen kann; ihre Länge erreicht beinahe 0,06 mm. Unsere Tafel „Mikroskopie des Blutes“ zeigt auf einen Blick diese Unterschiede der Größe und Form.

Im allgemeinen beobachten wir, daß, je größer bei verschiedenen Tieren die Blutkörperchen sind, desto geringer ihre in einem Blutstropfen vorhandene Zahl wird. Im allgemeinen haben Tiere, deren Blut größere Blutkörperchen enthält, relativ weniger als Tiere mit kleinen Blutkörperchen. Für den Menschen besitzen wir exakte Zählungen über die Anzahl der in einem gewissen Blutvolumen enthaltenen roten Blutkörperchen. In 1 cmm Blut eines kräftigen Mannes finden sich nahezu 5 Millionen rote und 14,000 farblose Blutkörperchen; die Anzahl der letzteren verhält sich also zu ersteren wie 1 : 350. Frauenblut enthält im gleichen Volumen etwa 1/2 Million rote Blutkörperchen weniger. Da ein erwachsener Mann etwa 10 Pfund Blut besitzt mit einem spezifischen Gewicht, welches das des Wassers nur sehr wenig übertrifft (wenn das spezifische Gewicht des Wassers = 1 ist, beträgt das des Blutes 1,055), so beherbergt er in dieser Blutmenge nach der angegebenen Zählung ungefähr 25 Milliarden rote Blutkörperchen. Welcker gibt das Volumen eines roten Blutkörperchens zu 0,00000072217 cmm, sein Gewicht zu 0,00008 mg und seine Oberfläche zu 0,000128 qmm an. Im Gesamtvolumen des Blutes eines erwachsenen Menschen, welches etwa 5000 ccm beträgt, berechnen wir aus diesen Welckerschen Angaben die Gesamtflächenausdehnung aller darin enthaltenen roten Blutkörperchen auf 3200 qm. Die ganze Bedeutung dieser relativ kolossalen Flächenausdehnung wird uns erst bei der Betrachtung des Verkehrs zwischen Sauerstoff und roten Blutkörperchen in der Atmung entgegentreten.

Unter dem Mikroskop sehen wir in einem frisch entleerten Blutströpfchen die roten Blutkörperchen in ihrer charakteristischen scheibenförmigen Gestalt frei und einzeln in der farblosen Blutflüssigkeit schwimmen. Bald aber verändert sich das Bild. Von den Rändern her beginnt das Blutströpfchen einzutrocknen, wobei die Blutkörperchen zu zackig-sternförmigen Figuren einschrumpfen. Sie nehmen dieselben Formen an, wenn wir zu dem Präparat einen Tropfen konzentrierter Salzlösung zusetzen; dagegen quellen sie kugelförmig auf, wenn wir das Blut mit reinem Wasser verdünnen. In dem unvermischten Blutstropfen sehen wir dann in den mittleren

Schichten, in welchen weder Verdunstung noch Eintrocknung ihre freie Beweglichkeit hemmt, die Blutkörperchen sich mit ihren Flachseiten geldrollenartig aneinander lagern. Nun erkennt man auch farblose Fasern, welche die Blutkörperchen in ein zartes Netzwerk einschließen. Diese Fasern sind ausgeschiedener Blutfaserstoff. Durch seine Ausscheidung wird der Blutstropfen zu einer roten Gallerte, die man nun als Ganzes mit einer Nadelspitze von der Unterlage abheben kann. Das Blut ist jetzt geronnen zu einem „Blutkuchen“, in welchem das Faserstoffnetz wie ein Badeschwamm Wasser, Blutflüssigkeit und Blutkörperchen einschließt. Ebenso gerinnt jede größere, aus den Blutgefäßen entleerte Blutmenge nach kurzer Zeit. Später zieht sich der Blutkuchen zusammen, d. h. die rote Gallerte schrumpft und preßt dabei eine klare, schwach gelblich gefärbte Flüssigkeit, das Blutserum, aus sich heraus. Der Faserstoff hält aber auch bei der stärksten Zusammenziehung des Blutkuchens alle Blutkörperchen in seinem Maschennetze fest. Das Blutserum ist also nicht dasselbe wie die Blutflüssigkeit, das Blutplasma des lebenden Blutes, in welchem in den Blutgefäßen des lebenden Tieres die Blutkörperchen schwimmen, sondern es ist Blutplasma ohne jene Faserstoff bildenden Substanzen, welche sich als Faserstoff im geronnenen Blute ausgeschieden haben.



Weiße Blutkörperchen. 1 und 2) ruhend, 3 bis 6) in Bewegung.

Das spezifische Gewicht des Gesamtblutes, im Mittel 1,055, setzt sich zusammen aus den verschiedenen spezifischen Gewichten des Blutplasma und der Blutkörperchen. Ersteres beträgt nur 1,027, das der roten Blutkörperchen 1,105, die weißen Blutkörperchen sind spezifisch etwas leichter. Bei dem Übergange des Blutes aus dem flüssigen in den geronnenen Zustand entwickelt sich, ähnlich wie bei dem Festwerden des Wassers beim Gefrieren, eine geringe Menge von Wärme. Wir haben oben angegeben, daß auf ein weißes oder farbloses Blutkörperchen sich im normalen Menschenblut etwa 350 rote Blutkörperchen finden, und daß die Anzahl der ersteren nach der Verdauung etwas größer ist. Im Blute der Milz ist die Anzahl der weißen Blutkörperchen aber stets beträchtlich größer als im Gesamtblut, es treffen dort schon je ein weißes auf 70 rote Blutkörperchen. Bei manchen konsumierenden allgemeinen Krankheiten, besonders aber in dem als Leukämie (Weißblütigkeit) bekannten Krankheitszustande, trifft schon auf je 7—20 rote Blutkörperchen ein weißes.

Den roten Blutkörperchen des Menschen fehlt, obwohl sie sonst noch viele Eigenschaften wahrer Zellen besitzen, der Zellkern; dagegen zeigen die weißen Blutkörperchen die typische Form der nackten Zelle. Es sind kugelige, blasse Protoplasmaklümpchen mit einem Durchmesser von 0,0054—0,012 mm. Da das Blut viele Milliarden von Zellen und zellenähnlichen Gebilden besitzt, so reiht es sich in seinem mikroskopisch-anatomischen Bau direkt an die Organe des Körpers an, die ja alle aus Zellen, eingebettet in einer mehr oder weniger massig entwickelten Grundsubstanz oder wenigstens Kittsubstanz, bestehen. Das Blut ist ein flüssiges Organ; wie die übrigen Organe unseres Körpers durch die Lebensthätigkeiten der sie aufbauenden Zellen gleichsam mit einem Sonderleben ausgestattet sind, so ist es auch das Blut; auch das Blut lebt. Wir erkennen das an ganz entsprechenden chemisch-physikalischen Vorgängen im Blute, wie wir sie für das Leben der übrigen Organe charakteristisch gefunden haben. Wie jene, hat das Blut seine eigene innere Atmung, bei welcher Sauerstoff verbraucht und Kohlensäure abgegeben wird; es besitzt daher auch seine eigene Kräfteentwickelung, welche sich in aktiven Bewegungserscheinungen seiner Zellen und in Wärmeentwickelung ausspricht. Die Blutkörperchen nehmen Stoffe auf und

geben solche ab in einem wahren Ernährungsvorgange; es fehlt ihnen nicht die Fähigkeit der Fortpflanzung und Vermehrung. Doch stehen immerhin diese Lebensvorgänge im Blute weit hinter denen anderer Organe zurück, was zum Teil darin seinen Grund hat, daß die Mehrzahl der roten Blutkörperchen des erwachsenen Menschen ihr individuelles Zellenleben schon beendigt hat. Der Stoffverbrauch im Blute zum Zweck seines eigenen Lebens tritt so sehr zurück, daß man ihn fälschlich bis in die neueste Zeit herein vollkommen leugnen zu müssen glaubte.

Die weißen Blutzellen zeigen aber sogar sehr lebhafte Lebensäußerungen. Der einfache Leib der niedrigsten nackten Wurzelfüßer, welche wir als den Typus des einfachen animalen Lebens kennen gelernt haben, der nur aus einem mit allen animalen Eigenschaften ausgestatteten Protoplasmaklümpchen besteht, treibt sein Wesen im Wasser, aus dem er seine Nährstoffe und den Sauerstoff bezieht. Die weiße Blutzelle, die ihr Einzelleben in der Blutflüssigkeit führt, ist wie ein nackter Wurzelfüßer im wesentlichen ein frei lebendes Protoplasmaklümpchen. Ihre kugelige Gestalt, wie wir S. 236 beschrieben haben, ist den weißen Blutzellen nur in der Ruhe und im Tode eigen. Erwärmen wir einen Tropfen Menschenblut, der lebende weiße Blutzellen enthält, auf die Normaltemperatur des lebenden Gesamtorganismus (37—38° C.), d. h. auf die normale Lebenstemperatur der weißen Blutzelle, so sehen wir diese wie aus einem Winterschlafe erwachen. Wir bemerken, daß sie ganz wie der nackte Wurzelfüßer ihre Körpergestalt, wenn auch langsamer, verändert. Sie streckt Fortsätze aus dem Protoplasmaleibe hervor, Scheinfüße, mit denen sie sich bewegt und festhaftet, die sie wie jener vollkommen selbständige Organismus auch als Organe zur Nahrungsergreifung verwendet. Wir können sehen, wie sie kleine, im Blute schwimmende Körnchen mit ihren Protoplasmafortsätzen ergreift und, indem sie die Scheinfüße einzieht, in ihren Leib als Nährmaterial hereinpreßt. Man hat wahre Fütterungsversuche mit den weißen Blutkörperchen angestellt. Kleinste Karminkörnchen, die man dem Blute zugemischt hatte, sah man von den weißen Blutkörperchen auf die angegebene Weise aufgenommen werden, und die rote Farbe der Körnchen gestattete es, ihre Anwesenheit in dem Protoplasmaleibe der Zelle mit aller Sicherheit zu konstatieren (s. Abbildung, S. 238). Etwa 1000 Millionen solcher weißer Blutkörperchen treiben ihr Lebensspiel in dem Blute eines Menschen. Hier tritt uns das individuelle Zellenleben innerhalb des Gesamtkörpers mit einer Deutlichkeit entgegen, welche nichts zu wünschen übrigläßt. Mit einer Art von Grauen sehen wir in unserem Körper, den wir doch durch unser Selbstbewußtsein als eine in sich geschlossene Einheit fühlen, selbständiges individuelles Leben in millionenfacher Anzahl sich abspielen, auf dessen Vorgänge wir nicht die leiseste Einwirkung auszuüben vermögen. Und ganz ähnlich wie die Zellen des Blutes verhalten sich die Zellen aller unserer Organe, die Zellen der Bindesubstanzen, die Zellen der Drüsen, Muskeln und des Nervensystems. Die weißen Blutkörperchen haben sehr verwandte Formen, welche in anderen Säften des Körpers, in der Lymphe und im Chylus, wohnen. Wir sehen ähnliche aus den Gefäßen ausgewanderte Zellen in den Gewebslücken aller Organe sich bewegen; sie fielen zuerst in der durchsichtigen Hornhaut des Auges auf, in der sie, durch die Gewebslücken sich hindurchschiebend, als sogenannte Wanderzellen sich umherbewegen. An durchsichtigen Organen wirbelloser Tiere kann man innerhalb des lebenden Organismus alle diese Lebensbewegungen, die wir soeben für die weißen Blutkörperchen des Menschen geschildert haben, im Blute in den Blutgefäßen selbst beobachten.

Bei der chemischen Untersuchung des Blutes müssen wir Plasma und Blutkörperchen gesondert betrachten. Es gelingt das, da wir im stande sind, die Gerinnung des Blutes künstlich zu verlangsamen und dadurch den spezifisch schwereren Blutkörperchen Zeit zu verschaffen, sich in dem Plasma zu senken. Dadurch erhalten wir eine obere körperchenfreie Plasmaschicht, welche für sich chemisch untersucht werden kann.

Die chemische Zusammensetzung des Blutes ist eine sehr vielfältige. Da das Blut die allgemeine Nährsubstanz der Organe des lebenden Körpers ist, so enthält es alle jene Substanzen, welche irgend einem Organ für seinen Aufbau und für die Erhaltung seines Lebens notwendig sind. Außerdem gelangen, wie wir wissen, in das Blut alle in den Organen unbrauchbar gewordenen chemischen Atomgruppen, alle Zersetzungsprodukte der Organe, welche aus dem Blute den Ausscheidungsorganen zur Abführung aus dem Körper übergeben werden. So trennen sich naturgemäß die Blutstoffe in drei Gruppen. Zur ersten Gruppe gehören alle jene Stoffe, welche im Organismus zum Zweck des Organaufbaues und der Krafterzeugung verbraucht werden. Zur zweiten Gruppe zählen alle jene Substanzen, die im Organleben ausgedient haben und, abgesehen von gewissen physiologischen Nebenwirkungen, zur Abfuhr aus dem lebenden Körper bestimmt sind. An dritter Stelle steht der Sauerstoff, der die Grundbedingung ist für die organische Verbrennung im Organismus und damit für die Arbeitsleistung aller seiner Organe.

Wie im ganzen Körper, so bildet auch in unserem Blute das Wasser die Hauptmasse. Normal ist das Blut unser wasserreichstes Organ, doch übertrifft sein Wassergehalt nur um wenige Prozente den des Fleisches und Gehirns. Ohne Wasser sind alle Lebensbewegungen unmöglich. E. Bischoff hat den Wassergehalt aller Organe direkt bestimmt; danach zeigt der Körper des Menschen je nach dem Lebensalter (Erwachsener, 33 Jahre alt, und neugebornes Kind) folgenden Wassergehalt:

Körper des erwachsenen Mannes	58,5 Prozent Wasser,	41,5 Prozent feste Stoffe,
„ „ neugebornen Kindes	66,4 „ „	33,6 „ „ „

Der Körper des Neugebornen enthält also relativ viel mehr Wasser als der des Erwachsenen, auch der weibliche Körper und der alter Leute ist etwas wasserreicher. Dieser Gesamtwassergehalt des Menschenkörpers setzt sich aus dem verschiedenen Wassergehalt der Organe zusammen. In der folgenden kleinen Tabelle sind die Organe aufsteigend nach der in ihnen enthaltenen prozentischen Wassermenge geordnet; der Wassergehalt derselben beträgt in Prozenten beim

	Erwachsenen	Neugebornen
Knochen	12,2	—
Fettgewebe	28,9	—
Leber	69,3	—
Haut	72,0	—
Gehirn	75,0	89,4
Fleisch (Muskeln)	75,7	81,8
Blut	83,0	85,0

Es ist auffällig, daß der Wassergehalt des Gehirns bei dem Neugebornen größer ist als der des Blutes.

Als ein Beispiel der Verteilung der Hauptbestandteile des Blutes dient folgende Bestimmung von Hoppe-Seyler:

In 1000 Teilen Gesamtblut waren:	
Blutkörperchen	326,2
Blutplasma	673,8

In 1000 Teilen Blutkörperchen:	
Feste Stoffe	435,0
Wasser	565,0

In 1000 Teilen Blutplasma:	
Wasser	908,4
Feste Stoffe	91,6
Von letzteren waren:	
Faserstoff	10,1
Andre Eiweißstoffe (Albumin)	77,6
Fette	1,2
Extraktivstoffe	4,0
Unorganische Salze	7,1

Die Untersuchungsakten über die Ursachen und das Wesen der Blutgerinnung sind noch keineswegs geschlossen, obwohl das ein Lieblingsthema der ärztlichen Forschung seit ältester Zeit

ist. Besonders rätselhaft erschien es, warum nur in dem aus der Ader gelassenen Blute und nicht in der lebenden Ader selbst die Gerinnung erfolgt. Aber man hat doch schon lange gefunden, daß unter gewissen Umständen das Blut auch schon in der Ader des lebenden Körpers gerinnen kann. Staut sich eine gewisse Zeit das Blut in einem Blutgefäße, z. B. nach chirurgischer Unterbindung des Gefäßes infolge von Verletzung desselben, so gerinnt an der Unterbindungsstelle das Blut ebenfalls. Jedes gröbere Hindernis der Blutbewegung, z. B. Rauhigkeiten an den inneren Gefäßwänden oder an krankhaft veränderten Herzklappen, führt zu partieller Blutgerinnung an den betreffenden Stellen, und gar mancher jener plötzlichen Todesfälle, welche das Publikum gemeinhin als „Schlagflüsse" zu bezeichnen pflegt, wird dadurch hervorgerufen, daß ein solches z. B. an den kranken Herzklappen gebildetes, an ihnen nur lose anhaftendes, oft nur kleines Blutgerinnsel mit dem Blutstrom verschleppt wird und plötzlich eine zur Erhaltung des Lebens unentbehrliche Gefäßbahn etwa im Gehirn oder in der Lunge verstopft. Man pflegt die Hintanhaltung der Gerinnung des Blutes im lebenden Körper von einer rätselhaften Einwirkung der gesunden lebenden Herz- und Gefäßwand auf das Blut abzuleiten. Froschblut, mit einem ausgeschnittenen pulsierenden Froschherzen über Quecksilber abgesperrt, gerinnt, solange das Herz fortschlägt, nicht. Wir haben keine genügende Erklärung dieser die Gerinnung des Blutes hindernden Einwirkung der „lebenden Gefäßwand". Da die Faserstoffausscheidung durch gewisse Zusätze zum Blute (Kohlensäure und andere schwache Säuren, Alkalien und alkalische Salze) verzögert werden kann, so könnte man an eine von der lebenden Gefäßwand ausgehende derartige Stoffzumischung zum Blute denken. Anderseits wird die Gerinnung beschleunigt durch eine Erwärmung auf 55° und durch Zutritt von Luft. Dagegen hat die mechanische Bewegung, welche im Blute durch das pulsierende Herz unterhalten wird, an der Verzögerung der Gerinnung keinen Anteil; es scheidet sich das Fibrin sogar rascher aus, wenn wir das aus der Ader gelassene Blut schlagen oder quirlen. Das Fibrin hängt sich dann als eine zähe, faserige Masse (Faserstoff) an den Quirl an, so daß wir es auf diese Weise vollständig aus dem Blute entfernen können. Das übrige Blut, das seine Lebenseigenschaften durch Trennung vom Fibrin keineswegs eingebüßt hat, bleibt flüssig als sogenanntes „defibriniertes" Blut, und der an dem Quirle anhaftende Faserstoff kann dann durch Waschen mit viel Wasser von Blutfarbstoff vollkommen rein und weiß erhalten werden.

Alle sonstigen organischen Stoffe, die das Blut enthält, treten an Menge außerordentlich hinter die der Eiweißstoffe[1] zurück. Sie werden von den Analytikern gewöhnlich als „Extraktivstoffe des Blutes" gewogen, nur etwa das Fett erfährt noch eine eigne quantitative Bestimmung. Außerdem enthält das Blut die bekannten Blutgase: Sauerstoff (an den Blutfarbstoff lose gebunden), Kohlensäure und Stickstoff. Unter den organisch-chemischen Blutstoffen spielt der sich an die Eiweißkörper anschließende rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin, in Beziehung auf die Vermittelung der Lungen- und der inneren Gewebsatmung (Sauerstoffaufnahme und Abgabe des Blutes) die Hauptrolle. In der Tafel „Mikroskopie des Blutes" finden sich verschiedene Kristallformen des Hämoglobins aus dem Blute verschiedener Tiere abgebildet.

Nach den von v. Bischoff an Hingerichteten ausgeführten Bestimmungen der Blutmenge des erwachsenen Mannes beträgt diese bei anscheinend vollkommener Gesundheit 7,7 Prozent oder

[1] Die Bluteiweißstoffe erscheinen als die wichtigsten Bestandteile zur Organernährung, sie treten im Blute in mehrfachen Modifikationen auf; die Hauptmasse bildet das „Serumalbumin", in weit geringeren Mengen finden sich: Paraglobulin, Serumkaseïn (Natronalbuminat) und Peptone nebst den fibrinbildenden Substanzen, die im lebenden Blute in irgend einer Weise gelöst enthalten sind; die gesamte Fibrinmenge des Blutkuchens beträgt übrigens noch nicht 2 Prozent aller festen Blutstoffe.

$1/_{13}$ des Körpergewichts. Ein Mann von 130 Pfund Gewicht besitzt sonach 10 Pfund = 5 kg Blut. Säugetiere ergaben bezüglich ihrer Gesamtblutmenge ähnliche Resultate[1].

Die Blutmenge des Menschen und der Säugetiere zeigt sehr beträchtliche Schwankungen nach verschiedenen gesunden und krankhaften Körperzuständen. Jüngere Individuen haben verhältnismäßig mehr Blut als ältere; namentlich fettreiche Körper Erwachsener haben eine relativ sehr geringe Blutmenge, sie kann etwa um die Hälfte der normalen Größe vermindert sein. Ruhe des Körpers, welche Fettansatz begünstigt, vermindert die Blutmenge; stärkere mechanische Leistungen innerhalb der Grenzen des physiologisch Zulässigen vermehren dagegen bei genügender, d. h. gesteigerter Ernährung die Gesamtblutmenge. Die Frauen haben daher im allgemeinen eine etwas geringere Blutmenge als die im aktiven Leben stehenden Männer. Fleischnahrung hebt die Blutmenge, während diese durch eine Nahrung, die reich an Fett oder Mehl (Stärkemehl) und Zucker ist, vermindert wird. Die Kartoffelnahrung der Armen wirkt ebenso verringernd wie der Hunger oder ungenügende Ernährung, namentlich wenn durch gleichzeitig gesteigerte Muskelleistung ein gesteigerter Organstoffverbrauch hervorgerufen wird. Dann steigert sich die Blutarmut zur Blutleere, Anämie, äußerlich charakterisiert durch bleiche, blutleere Gesichtsfarbe, Schlaffheit der Muskulatur und Haut. Alle Krankheiten scheinen die Blutmenge der Patienten zu vermindern. Eine Blutverminderung kann auch dadurch eintreten, daß zwar nicht die Flüssigkeitsmenge, aber die Menge der „wesentlichen" Blutbestandteile, z. B. der roten Blutkörperchen oder nur des roten Blutfarbstoffes, abnimmt. Namentlich in „anämischen" Zuständen erscheint gewöhnlich infolge einer Verminderung des Blutfarbstoffes die Farbe des Blutes weniger gesättigt als bei Gesunden. Eine Verminderung des Blutfarbstoffes zieht eine Reihe von Folgen nach sich, welche den durch Verminderung des Gesamtblutes hervorgebrachten ganz entsprechend sind. Auf die Verminderung dieser „wesentlichen Blutstoffe" haben die Ernährung und der allgemeine Körperzustand den entschiedensten Einfluß. Das Blut wird nach länger dauerndem Hunger, auch bei Kranken und Altersschwachen, wässeriger, im allgemeinen ärmer an festen Blutstoffen. Anderseits ist bei reichlicher Fleischnahrung das Blut nicht nur im ganzen konzentrierter, wasserärmer, sondern es enthält auch mehr von dem lebenswichtigsten aller chemischen Blutbestandteile: von dem roten Blutfarbstoff, dem Hämoglobin.

Die Theorie der Atmung und der Blutfarbstoff.

Die für das Leben notwendigen Gasaustauschprozesse, welche wir als **Atmung** zusammenfassen, beruhen auf der Art und Weise der mechanischen Krafterzeugung, die in jedem animalen Organismus dieselbe ist wie in dem des Menschen.

Die Kräfte, über welche der menschliche Körper zu seinen mechanischen Zwecken verfügen kann, werden, wie wir wissen, frei und verwendbar durch die Verbindung der Elementarstoffe seiner Organe mit Sauerstoff, wobei gasförmige Kohlensäure und Wasser (neben Harnstoff) als Hauptzersetzungsprodukte der Organe entstehen. Um diese Verbindung der Elementarstoffe der Körperorgane mit Sauerstoff in ununterbrochenem Gange zu erhalten, **tritt in der Atmung Sauerstoff in den Organismus**, zunächst in das die Lungen durchströmende Blut, ein, **wofür annähernd das gleiche Volumen Kohlensäure abgegeben wird**, neben so viel

[1] Der Verfasser fand die Blutmenge z. B bei

Hunden	6,7 Prozent	oder 1 : 14,7		
Fröschen	6,5 „	„ 1 : 15,6		
Meerschweinchen	5,8 Prozent	oder 1 : 17,1		
Kaninchen	5,4 „	„ 1 : 18,0		
Katzen	4,7 „	„ 1 : 21,4		

Wasserdampf, als hinreicht, die Atemluft bei der Temperatur des Körpers mit Wasserdampf ziemlich vollkommen zu sättigen. Es ist lange Gemeingut der Wissenschaft, daß dieser Gasverkehr des Organismus mit der Atmosphäre im Prinzip nach dem allgemein in der anorganischen Natur geltenden Gesetz der Diffusion, welches die Gasverteilung im Raume regelt, erfolge. Nach diesem allgemeinen Bewegungs- und Verbreitungsgesetz der Gase dringen die die Luft zusammensetzenden Gase, Sauerstoff und Stickstoff, von denen Sauerstoff in 21 Prozent, Stickstoff in 79 Prozent (neben 0,05 Prozent Kohlensäure) dem Volumen nach in der Luft enthalten sind, in alle ihnen offenstehenden Räume ein und erfüllen diese gleichmäßig. Gase, welche miteinander in offener Berührung stehen oder nur durch trockne, poröse Scheidewände voneinander getrennt sind, mischen sich. Die meisten Flüssigkeiten, z. B. Wasser, aber auch das Blut, verhalten sich im allgemeinen dem Eindringen der Gase gegenüber ähnlich wie poröse Substanzen. Auch in die „Molekularlücken" aller überhaupt Gase aufnehmenden Flüssigkeiten, die wir im folgenden allein meinen, dringen Gase ein. Die Menge jedes in eine Flüssigkeit durch Diffusion eindringenden Gases ist zunächst bedingt von der relativen Menge, in welcher dasselbe in der die Flüssigkeit umgebenden Atmosphäre enthalten ist, mit anderen Worten von dem speziellen „Drucke" dieses Gases. Da nun die normale atmosphärische Luft Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure in Mischung enthält, so werden in eine luftleere Flüssigkeit, welche wir mit Luft in freie Kommunikation setzen, die Luftgase eindringen, ziemlich so wie in einen luftleeren Raum. Enthält umgekehrt die Flüssigkeit eine oder die andere Gasart in größerer Menge, als sie in der Luft enthalten ist, so strömt die in übergroßer Menge in der Flüssigkeit vorhandene Gasart aus dieser in die Atmosphäre ab, um sich in der letzteren und in der Flüssigkeit relativ gleichmäßig zu mischen. Wenn wir eine Champagnerflasche öffnen, so entweicht die in dem Weine durch die Gärung erzeugte und künstlich zurückgehaltene Kohlensäuremenge perlend in die Luft, weil sie in dieser in relativ geringerer Menge enthalten ist als in dem künstlichen Weine. Es tritt jedoch in den engen Molekularzwischenräumen der Flüssigkeiten noch eine Wirkung auf, welche wir in größeren Lufträumen nicht zu beobachten Gelegenheit haben, eine zwischen den Gasen und den flüssigen (und festen) Körpern statthabende Oberflächenanziehung. Diese ist für die einzelnen Gase und die verschiedenen flüssigen (oder festen) Substanzen eine verschiedene. So wird z. B. vom Wasser und von allen wässerigen Flüssigkeiten, also auch vom Blute, Sauerstoff infolge der Diffusion in reichlicherer Menge aufgenommen als Stickstoff.

In den Lungen tritt das Blut, das in den unzähligen Kapillaren, welche die Wandungen der Lungenbläschen umspinnen, hinströmt, in so gut wie direkte, offene Berührung mit der eingeatmeten atmosphärischen Luft. Es ist von dieser nur durch die mit wässeriger, dem Blutplasma entsprechender Flüssigkeit durchtränkten Kapillarwandungen und zum Teil Lungenbläschenwandungen geschieden, welche selbst als eine den Blutstrom umkleidende Flüssigkeitsschicht von minimaler Dicke angesehen werden können und den Diffusionsverkehr zwischen Lungenluft und Lungenblut nicht in bemerkbarer Weise verzögern. Das Blut ist in den Lungen in dünnster Schicht ausgegossen und unterhält von einer außerordentlich großen Oberfläche aus (s. S. 245) mit der Lungenluft den Gasaustausch. Hierbei dringt durch Diffusion Sauerstoff in die Blutflüssigkeit, während dagegen die im venösen Blute, wie im Champagner, in größerer Menge als in der atmosphärischen Luft enthaltene Kohlensäure nach dem Gesetz der Diffusion abraucht. Gleichzeitig sättigt sich die in die Lungen relativ kalt und trocken aufgenommene Luft für die Temperatur des Körpers, welche sie dort rasch annimmt, mit Wasserdampf, welcher ebenfalls dem Blute (und den feuchten Wänden der Luftwege, welche ihre Feuchtigkeit zum Teil auch dem durchströmenden Blute verdanken) entzogen wird. Auch Stickstoff dringt aus der Atmosphäre, dem Diffusionsgesetz entsprechend, in das Blut ein; da aber der freie Stickstoff im Blute keine Verwendung findet, so stellt sich rasch ein Gleichgewicht zwischen dem Stickstoffgehalt der Luft

und dem des Blutes her, so daß keine Neuaufnahme von Stickstoff in das Blut mehr möglich ist. Dagegen geht im Organismus der Sauerstoffverbrauch beständig fort, und ebenso beständig entsteht in ihm Kohlensäure (und Wasserdampf), so daß der eingeatmeten Luft fortgesetzt Sauerstoff entzogen und dafür Kohlensäure (und Wasserdampf) übergeben wird, während das Volumen des in der Atmung aufgenommenen Stickstoffes so gut wie unverändert bleibt.

Es war nun eine folgewichtige Entdeckung, als man fand, daß außer den eben geschilderten ununterbrochen thätigen Vorgängen der Diffusion zwischen Lungenblut und Lungenluft noch ein anderer und zwar ein aktiver Vorgang der Sauerstoffeinsaugung im Blute existiert. Die roten Blutkörperchen saugen den durch Diffusion in die Blutflüssigkeit hereingekommenen Sauerstoff in sich ein, binden[1] ihn hier vorläufig fest, ohne ihn aber in irgend erheblichem Grade zu Stoffzersetzungen in sich selbst zu verwenden. Sie steigern dadurch den Diffusionsstrom zwischen Blutflüssigkeit und Lungenluft in hohem Grade, da durch ihre Wirkung die Blutflüssigkeit selbst beständig fast sauerstofffrei erhalten bleibt, so daß ein Diffusionsgleichgewicht zwischen Blutflüssigkeit und Lungenluft so lange nicht eintreten kann, Sauerstoff also ununterbrochen in die Blutflüssigkeit so lange einströmt, als noch Blutkörperchen vorhanden sind, welche Sauerstoff an sich zu binden vermögen. Das Blut besitzt also eine spezifische Anziehung zu Sauerstoff, wodurch es weit mehr von diesem Lebensagens aufnehmen kann, als nach dem Gesetz der Gasdiffusion allein eintreten würde.

Die Bindung des größten Teiles des von ihnen aufgenommenen Sauerstoffes an die roten Blutkörperchen ist aber eine so lose, daß der Sauerstoff von leicht verbrennlichen Substanzen im Organismus dem Blute leicht und rasch entzogen wird. Die in fortwährender Selbstzersetzung begriffenen Organe und Gewebe des menschlichen Körpers entziehen den Blutkörperchen den Sauerstoff, nehmen diesen in sich auf und verwenden ihn zu ihren „organischen Verbrennungen“.

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich der wesentlichste Unterschied des venösen und arteriellen Blutes. In dem arteriellen Blute, welches aus den Lungen dem linken Herzen zur Verteilung im ganzen Organismus zuströmt, sind die Blutkörperchen mit Sauerstoff gesättigt, die Blutflüssigkeit ist von dem Überschusse von Kohlensäure befreit. In dem venösen Blute, das von seiner Arbeit im Körper zurück zum rechten Herzen und von diesem zur Reinigung und Neubelebung in die Lungen geführt wird, hat dagegen ein Teil der Blutkörperchen den Sauerstoff abgegeben, und die Blutflüssigkeit ist dafür mit Kohlensäure angefüllt. Wiederaufnahme von Sauerstoff aus der Einatemluft in die Blutkörperchen, Wiederabgabe der Kohlensäure an die Ausatemluft ist die spezielle Aufgabe der Atmung. Das arterielle Blut strömt mit seinen roten Blutkörperchen als ein konzentrierter Sauerstoffstrom zu den Organen, um die Lebensthätigkeiten in diesen zu unterhalten. Die Sauerstoffmenge, welche die Blutflüssigkeit ohne die roten Blutkörperchen allein durch die Diffusionswirkung in sich aufnehmen kann, ist nicht ausreichend, um das Sauerstoffbedürfnis des Menschen und der Wirbeltiere überhaupt zu unterhalten[2].

Die Anziehung des Sauerstoffes durch die roten Blutkörperchen geht zunächst von der Oberfläche der letzteren aus, sie ist daher dieser Oberfläche proportional. Wir haben oben gehört, daß die Gesamtoberfläche aller im Blute eines gesunden Mannes befindlichen roten Blutkörperchen sich etwa auf 3200 qm berechnet. Die bedeutende Wirkung ihrer Oberflächenanziehung wird uns

---

[1] Auch ein Teil der Kohlensäure ist locker im Blute gebunden, obwohl die Gesamtmenge derselben im trockenen Vakuum ohne weiteres entweicht.

[2] Wie mächtig durch diese aktive Anziehung der roten Blutkörperchen der Sauerstoff und durch die Kohlensäureproduktion in den Geweben der Gasgehalt des Blutes beeinflußt wird, beweist eine Vergleichung des Gasgehaltes der atmosphärischen Luft und des Gasgehaltes des Flußwassers, den wir schon oben angeführt haben, mit dem Gasgehalte des Menschenblutes nach einem Experiment von Setschenow. Die Zahlenwerte sind folgende:

aus dieser überraschenden Flächenausdehnung verständlich. Auch die Raschheit der Diffusion steht im Verhältnis zur Größe der sich berührenden Flüssigkeitsschichten und Gasschichten. In diesem Sinne ist auch die kolossale Flächenausdehnung der inneren, durch die Lungenbläschen gebildeten Lungenoberfläche, auf welche gleichsam in dünnster Schicht das Lungenblut in den fast ohne Zwischenraum aneinander hinlaufenden Kapillaren ausgegossen wird, von Interesse. Huschke zählte in der Lunge 1800 Millionen Lungenbläschen. Würden die Wandungen derselben aufgeschnitten nebeneinander hingebreitet, so würden sie eine Fläche von etwa 200 qm decken.

Die roten Blutkörperchen sind also die Sauerstoffträger des Organismus, die in beständiger Abwechselung den Sauerstoff vorläufig an sich binden, um ihn an den Sauerstoff bedürfenden Stellen des Organismus wieder abzugeben, worauf sie in der Atmung wieder neuen Sauerstoffvorrat erhalten. Das erklärt die hohe Wichtigkeit der roten Blutkörperchen für das Gesamtleben des Menschen. Das Leben entströmt mit dem Blute. Indem dem Verblutenden die roten Blutkörperchen entzogen werden, verliert er sein Hauptvermittelungsglied zwischen dem Sauerstoffe der Atmosphäre und den zur Erhaltung ihres Lebens fortwährend Sauerstoff bedürfenden Organen. Lungen und Herz arbeiten, wenn keine roten Blutkörperchen vorhanden sind, umsonst. Bei der Atmung tritt nun der Sauerstoff nicht mehr in genügender Menge in den Organismus ein, und die Organe, welche den nötigen Sauerstoff im Blute nicht mehr erhalten, ersticken wie Fische in einem Troge, aus dem man das sauerstoffhaltige Wasser, in welchem sie atmeten, hat ausfließen lassen. Der Verblutende stirbt, als wenn ihm die Kehle mit einem Stricke zugeschnürt wäre; er erstickt, weil ihm ein Hauptvermittelungsglied zwischen Luft und Organen mit dem entströmenden Blute verloren geht. Wenn wir den Strick noch rechtzeitig lösen, wenn wir dem Verblutenden wieder Blut in die Adern durch „Transfusion" einspritzen, so kann sich der Verkehr des Organismus mit der Atmosphäre wiederherstellen. Die noch nicht vollkommen erstorbenen Organe können sich durch die Neuzufuhr von Blut wiederbeleben, etwa aus dem gleichen Grunde, als wenn wir den im leeren Troge erstickenden Fischen wieder sauerstoffhaltiges Wasser zufließen lassen.

Diese wunderbare Fähigkeit, den Gasverkehr zwischen Atmosphäre und Organen zu vermitteln, erhalten die roten Blutkörperchen einzig und allein durch den roten Blutfarbstoff, das S. 241 erwähnte Hämoglobin. Das Hämoglobin hat außerhalb des Organismus, aus den Blutkörperchen durch chemische Operation getrennt, ebenso wie innerhalb der lebenden Blutkörperchen, als deren wesentlichster Bestandteil, die Fähigkeit, eine lose Verbindung mit Sauerstoff einzugehen. Dabei tritt ein Farbenwechsel ein. Das sauerstofffreie Hämoglobin ist dunkel blaurot, das sauerstoffhaltige Hämoglobin oder Oxyhämoglobin ist hellrot. Das erklärt uns den Farbenwechsel des venösen und arteriellen Blutes. Das arterielle Blut ist hellrot, weil das Hämoglobin seiner roten Blutkörperchen durch Sauerstoffaufnahme in den Lungen in hellrotes Oxyhämoglobin umgewandelt wurde; das venöse Blut ist dunkel blaurot, weil seine roten Blutkörperchen weniger Oxyhämoglobin als das arterielle Blut, dagegen sauerstofffreies Hämoglobin enthalten.

Die Fähigkeit des Blutrotes und der roten Blutkörperchen, Sauerstoff lose an sich zu binden, kann durch gewisse gasartige Gifte vollkommen aufgehoben werden. Unter diesen giftigen Gas-

	Sauerstoff	Stickstoff	Kohlensäure
In der atmosphärischen Luft sind enthalten .	21 Prozent	79 Prozent	0,05 Prozent
im Flußwasser	34 „	63 „	3,0 „
im Menschenblut	34,1 „	2 „	63,3 „

Auf 100 Volumteile Stickstoff sind sonach enthalten:

In der atmosphärischen Luft	ca. 27	Volumteile Sauerstoff
im Flußwasser	„ 54	„ „
im Menschenblut	„ 1705	„ „

arten ist vor allen der „Kohlendunst", das Kohlenoxydgas, bekannt und mit Recht gefürchtet. Zahlreiche unabsichtliche Lebensvernichtungen sind die Folge eines Ausströmens von Kohlenoxydgas aus den Kohlenöfen nach zu frühem Verschlusse der Klappe. Das Kohlenoxydgas bildet sich nämlich in größeren Mengen bei allen Verbrennungen, welche ohne genügenden Luftzutritt erfolgen; auch in manchen Sorten Leuchtgas ist es in großer Menge enthalten und verursacht dessen Giftigkeit. Der rote Blutfarbstoff hat eine größere Verwandtschaft zu Kohlenoxydgas als zu Sauerstoff, er verbindet sich mit dem Gase zu Kohlenoxydhämoglobin, welchem die Fähigkeit, Sauerstoff aufzunehmen, vollkommen mangelt. Die Blutkörperchen, deren Hämoglobin in Kohlenoxydhämoglobin umgewandelt ist, sind daher für die Atmung im Augenblicke vollkommen wertlos, und der durch Kohlendunst vergiftete Mensch erstickt, als hätte er, wie ein Verbluteter, kein Blut mehr, oder als enthielte die Luft, welche er atmet, keinen Sauerstoff. Die Möglichkeit einer Rettung durch Kohlendunst Halberstickter beruht also darauf, daß man die Kranken in freie Luft bringt und den Versuch macht, durch künstlich gesteigerte Atemthätigkeit die noch nicht vergifteten roten Blutkörperchen zu energischerer Aktion zu veranlassen. Im äußersten Falle kann eine rasch ausgeführte Einspritzung gesunden Blutes, eine Bluttransfusion, unter den Händen des Arztes noch Rettung bringen.

In einem verschiedenen chemischen Verhalten des Blutes hat man seit alter Zeit die Veränderungen vor allem begründet sehen wollen, welche der Gesundheitszustand der Europäer in Tropengegenden erfährt. In heißen Klimaten soll das Venenblut dunkler gefärbt sein und das Arterienblut sich in seiner Färbung mehr dem Venenblute nähern. Ausreichende exakte Beobachtungen über diesen wichtigen Gegenstand fehlen noch immer, und für die Wissenschaft ist die „Überzeugung" der Ärzte von diesem Sachverhalt keine genügende Basis. Mit derselben Bestimmtheit, aber ebenfalls noch ohne ausreichende Begründung, wird behauptet, daß das Blut der Polarbewohner eine mehr hellrote Farbe zeige. Es ist freilich mit aller Sicherheit anzunehmen, daß das Blut unter den verschiedenen Einflüssen des Klimas und der geographischen Bedingungen, namentlich aber nach den Unterschieden in der Volksernährung, Verschiedenheiten der chemisch-morphologischen Zusammensetzung zeigen werde. Das Blut von Individuen, also auch wohl von Völkerschaften, welche ausschließlich von Pflanzenkost leben, ist, wie die vorliegenden Untersuchungen an Tieren zu ergeben scheinen, ein anderes als bei solchen mit ausschließlicher Fleischnahrung. Für den Menschen verschiedener Rasse und in verschiedenen geographischen Bedingungen haben wir aber auch darüber noch keine brauchbaren Untersuchungen.

---

7. Die Organe der Blutreinigung und ihre Thätigkeit.

Inhalt: Die Atmungsorgane. — Bau und Bewegungen der Lunge. — Die Atemgase. — Magenatmung und Hautatmung. Schweißbildung. — Die Nieren und ihre Thätigkeit.

Die Atmungsorgane.

Die animale Atmung besteht in Aufnahme von Sauerstoff in den Körper und in Abgabe von Kohlensäure (und Wasserdampf) aus dem Körper.

Das Leben des Menschen wie aller animalen Organismen kann, wie wir bei Besprechung der Physiologie des Blutfarbstoffes hervorgehoben haben, nur bestehen im beständigen Wechselverkehr mit der Atmosphäre. Mit Hilfe des Sauerstoffes, welcher aus der Luft durch den Vorgang der Atmung in die Nährflüssigkeit des Körpers und zwar bei dem Menschen wie bei allen

Wirbeltieren zunächst in das Blut aufgenommen wird, werden alle jene Kraftleistungen hervorgebracht, welche wir als Beweise des Lebens betrachten. Dieser Wechselverkehr des Blutes mit der Luft findet bei dem Menschen und allen Luft atmenden Wirbeltieren zum weit überwiegenden Anteile in den Lungen statt. Aber ganz im allgemeinen tritt die Aufnahme von Sauerstoff in das Blut überall da ein, wo das Blut mit Sauerstoff in so direkte Berührung kommt, daß eine Gasdiffusion eintreten kann. Dann erfolgt gleichzeitig auch die Abgabe der Kohlensäure und des Wasserdampfes, welche wir als die der Sauerstoffaufnahme parallel laufenden Vorgänge kennen. Diese Verhältnisse sind nicht nur in den Lungen, sondern auch an der Oberfläche der äußeren Körperhaut des Menschen gegeben, deren reich mit feinsten Blutgefäßchen umsponnene, als Hautporen bekannte Drüsenmündungen (Schweißdrüsen) der Luft in geringem Grade Zutritt zum Blute gestatten. Das Gleiche gilt von der inneren Hautschicht, der Schleimhaut, des Verdauungsrohres, namentlich von der Schleimhaut des Magens, in welchen mit den schaumigen Mundflüssigkeiten ziemlich viel Luft hinabgeschluckt wird. Wenn wir die Lungenatmung von der Hautatmung und der Magen- oder Darmatmung unterscheiden, so haben wir von vornherein festzuhalten, daß alle diese Atemvorgänge doch in dem gleichen physikalisch-chemischen Vorgange der Sauerstoffaufnahme aus der Luft und Kohlensäureabgabe an die Luft bestehen.

Der eben geschilderte Verkehr des Blutes mit der Luft wird als äußere Atmung von einer inneren oder Organatmung unterschieden. Die Organe und Organteile, welche in ihrer Lebensthätigkeit unablässig Sauerstoff verbrauchen, teils zu wahren Oxydationen, teils zur Aufspeicherung in chemisch spaltbaren, durch ihre Spaltung Kohlensäure liefernden Substanzen, nehmen aus dem in äußerer Atmung sauerstoffhaltig gewordenen arteriellen Schlagaderblute, von welchem sie umspült werden, Sauerstoff auf und beladen dafür das Blut mit Kohlensäure und den übrigen chemischen Zersetzungsprodukten der Organbestandteile, welche in ihnen bei ihrer Lebensthätigkeit erzeugt worden sind. Innere und äußere Atmung zeigen sonach in Beziehung auf das Blut einen vollkommenen Gegensatz. In der inneren Atmung nimmt das Blut Kohlensäure auf, in der äußeren Atmung gibt das Blut Kohlensäure ab; in der inneren Atmung wird dem Blute durch die Organe der Sauerstoff wieder entzogen, den es in der äußeren Atmung aufgenommen hat. Für die Organe und ihre sie aufbauenden Zellen ist dagegen der Vorgang der Organatmung mit dem Vorgange der äußeren Atmung identisch. Die Organe und ihre Zellen leben in dem sauerstoffhaltigen Blute wie Wassertiere in dem sauerstoffhaltigen Wasser. Der einfache Organismus der Wurzelfüßer, welchem wir in unseren einleitenden Betrachtungen so viele Aufschlüsse über die elementaren Vorgänge des Lebens verdanken, hat uns auch gelehrt, daß und wie in sauerstoffhaltiger Flüssigkeit, speziell im Wasser, eine Atmung ohne spezifische Atemorgane möglich ist. Von der allgemeinen Körperoberfläche des einfachsten Organismus sahen wir das im Wasser durch Diffusion gelöste Lebensprinzip des Sauerstoffes direkt in das Innere des kleinen Körpers gelangen; diese einfachste Atmung des Protoplasmas wird unterstützt durch die zeitweilige Vergrößerung der Körperoberfläche, das Ausstrecken von Scheinfüßen und die in diesen mit besonderer Lebhaftigkeit vor sich gehende Protoplasmaströmung. Schon mehrfach haben wir darauf hingewiesen, das nicht nur die weißen Blutkörperchen, sondern alle die organaufbauenden Zellen des Menschenkörpers wie aller blutbesitzenden animalen Wesen sich dem sauerstoffhaltigen Blute gegenüber in etwa der gleichen Lage befinden wie jene frei lebenden nackten Protoplasmakörper gegenüber dem Wasser. Auch bei ersteren tritt durch Oberflächenanziehung, unterstützt durch chemische Anziehung, von seiten gewisser Protoplasmabestandteile Sauerstoff aus der umgebenden sauerstoffhaltigen Flüssigkeit, dem Blute, in das Zellprotoplasma ein, welches durch innere Strömungen und gelegentlich durch Formumwandlungen, Ausstreckung von Protoplasmafortsätzen, im allgemeinen durch Oberflächenvergrößerung die Aufnahmebedingungen günstiger gestaltet. Das Blut

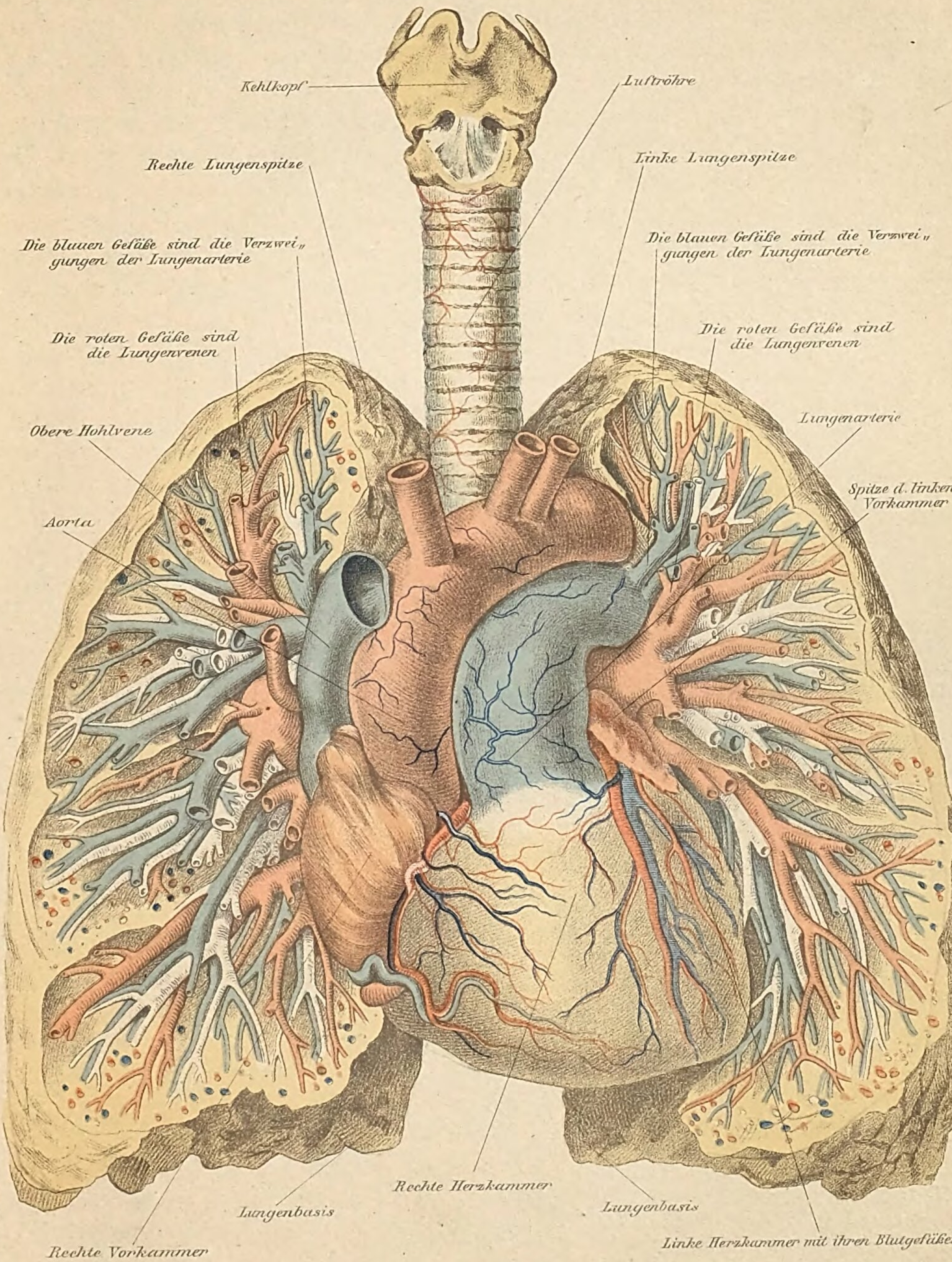
erscheint als Atmungsmedium der Organe und ihrer Zellen. Um diese Funktion fortgesetzt ausüben zu können, bedarf das Blut einer Neuzufuhr von Sauerstoff in der äußeren Atmung durch die Atemorgane; es bedarf aber auch einer Reinigung von Kohlensäure und den übrigen Zersetzungsprodukten, welche es aus den Organzellen aufgenommen hat, teils durch die Lungen, teils durch die anderen Organe, welche der Blutreinigung vorstehen, namentlich Haut und Nieren.

Für das Leben des Gesamtorganismus des Menschen erscheint daher die äußere Atmung, ohne welche ja die innere Atmung nicht stattfinden könnte, als einer der allerwichtigsten oder geradezu als der wichtigste der allgemeinen Lebensprozesse. Von dem Gesichtspunkte der Blutreinigung betrachtet, erscheinen Lungen, Haut und Nieren mit der Magen- und Darmschleimhaut als Organe, deren verschiedenartige Thätigkeiten sich gegenseitig unterstützen und ergänzen; sie und in erster Linie die Lungen sind die wichtigsten Organe der Blutreinigung. Aus unseren folgenden Untersuchungen wird sich zwar ergeben, daß auch noch einige andere Organe, namentlich die Leber, an der gleichen Aufgabe mitarbeiten. Die Übereinstimmung in den Ausscheidungsbedingungen der zuerst genannten Organe rechtfertigt es jedoch, daß wir sie in ihrer Thätigkeit im Zusammenhange betrachten. Auch diese ihre Thätigkeit selbst zeigt prinzipielle Übereinstimmungen. Die Vorgänge der Blutreinigung in den verschiedenen Atmungsorganen und den Nieren lassen sich im wesentlichen auf ein allgemeines physikalisches Prinzip zurückführen, auf das Gesetz, welches die Diffusion der Gase und Flüssigkeiten beherrscht. Das Leben benutzt auch bei diesen Funktionen Kräfte, Bewegungsursachen, welche es der Kraftsumme der unorganischen Welt entlehnt, und es gelingt daher bis zu einem hohen Grade, die Vorgänge der Drüsenausscheidungen, zu welchen ja auch die Lungenausscheidung gerechnet werden muß, außerhalb des Organismus nachzuahmen und dadurch in ihrer Gesetzmäßigkeit näher zu studieren.

Bau und Bewegungen der Lunge.

Unsere entwickelungsgeschichtlichen Betrachtungen haben uns gelehrt, in welch außerordentlich einfacher Weise die großen Drüsen, deren Ausführungsgänge bei dem ausgebildeten Organismus sich in das Verdauungsrohr öffnen, die Lunge, die Leber, die Bauchspeicheldrüse, angelegt werden. Sie entstehen zunächst alle als buchtige, später schlauchförmige Ausstülpungen des Verdauungsrohres, an deren Bildung die verschiedenen das letztere bildenden Schichten sich beteiligen (s. Abbildungen 1 und 2, S. 249). Die innere Auskleidung des Verdauungsrohres, welche aus dem inneren oder Darmdrüsenblatte der noch scheibenförmigen, dreischichtigen Fruchtanlage hervorging und den wesentlichen Teil der Verdauungsschleimhaut bildet, geht in die genannten, als schlauchförmige Ausbuchtungen angelegten großen Drüsen ebenso ein wie die äußere, aus Muskelfasern und Bindegewebe bestehende Hüllschicht, welche sich aus dem mittleren Keimblatte teilweise abgespalten hat. Jene mikroskopischen Drüsenelemente, welche die chemisch-physiologische Thätigkeit der genannten Drüsen vermitteln, sind Abkömmlinge des innersten Keimblattes, des Darmdrüsenblattes, und zeigen daher in ihren Funktionen noch im erwachsenen Zustande des Organismus die bemerkenswertesten Übereinstimmungen mit den Thätigkeiten der Darmdrüsenschleimhaut des Verdauungsrohres, von welchen sie sich nur bis zu einem gewissen Grade emanzipiert haben.

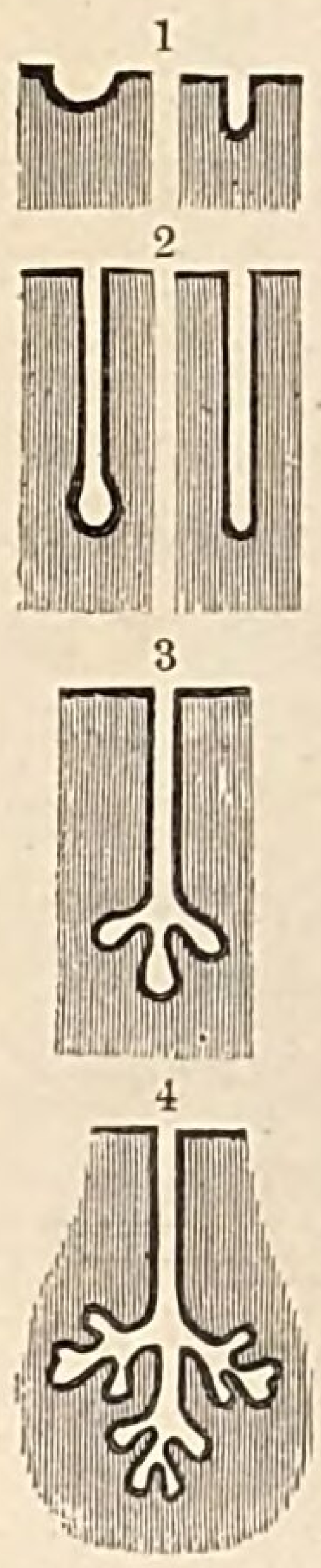
Indem sich die schlauchförmige Anlage der Lunge verästelt (s. Abbildungen 3 und 4, S. 249), bildet sie ein vielverzweigtes Röhrensystem, dessen Abschnitte untereinander in einer einzigen gemeinschaftlichen Röhre, der Luftröhre, zusammenhängen (s. Abbildung, S. 44). In alle diese Röhrenzweige bis an das Ende derselben verläuft als innere Auskleidung eine im wesentlichen aus Zellenschichten zusammengesetzte, aus dem innersten Keimblatte abstammende Innenhaut als Hauptbestandteil der Lungenschleimhaut, während die äußere, aus organischen Muskelzellen,



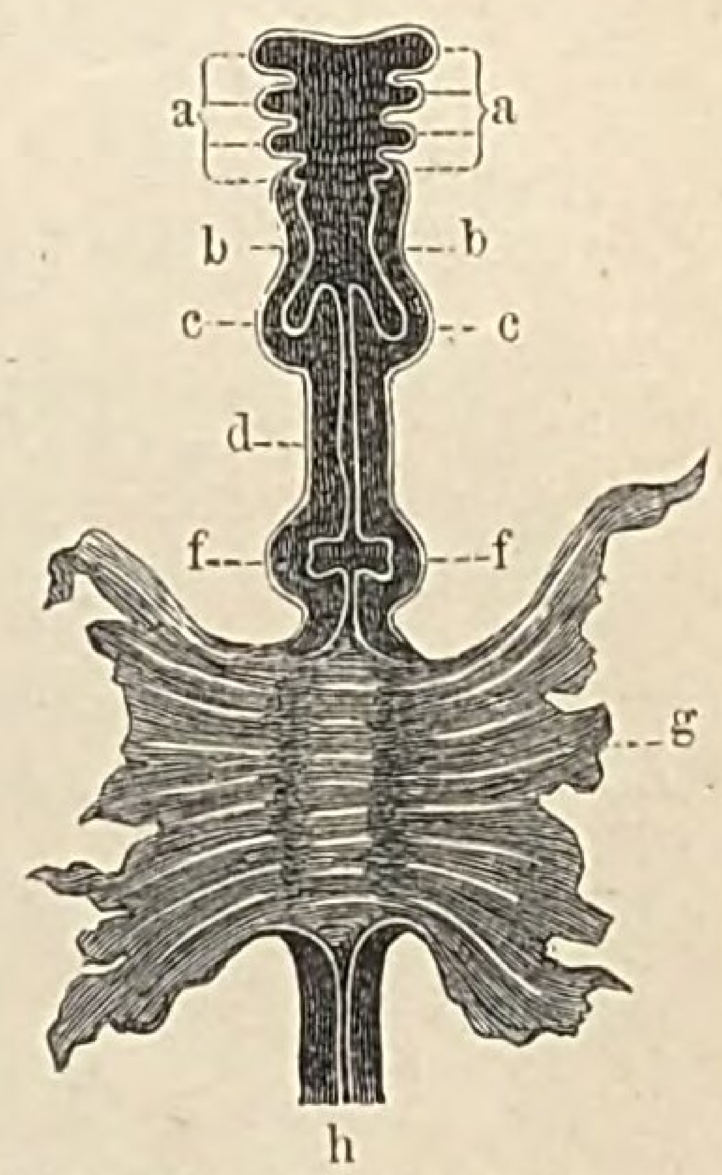
DIE LUNGE DES MENSCHEN.
(von vorn gesehen)

häutigem und knorpeligem Bindegewebe mit Einlagerung zahlreicher elastischer Gewebselemente gebildete Hüllschicht dem mittleren Keimblatte entstammt. Nach den Beobachtungen v. Bischoffs zeigt sich in den ersten Tagen der Körperentwickelung die Lungenanlage (s. untenstehende Abbildung, rechts) als zwei kleine Ausstülpungen des noch ziemlich gleichmäßig röhrenförmig gestalteten Darmrohres; beide Anlagen münden anfänglich, jede für sich, am Anfange der Speiseröhre dicht hinter dem Schlunde ein. Erst in der Folge sollen die primär gesonderten Einmündungsöffnungen zu einer einfachen Röhre, der Luftröhre, verschmelzen, an welcher dann die beiden Lungen oder Lungenflügel wie an einem gemeinsamen Stiele sitzen.

Gehen wir bei der näheren anatomischen Beschreibung von dem Baue der fertig gebildeten Lungen aus, so können wir uns ihre vielverzweigten Hohlräume, welche der Luftaufnahme dienen, sehr anschaulich unter dem Bilde eines vieläftigen Baumes vorstellen (s. Abbild., S. 44, und die beigeheftete Tafel „Die Lunge des Menschen"). Die Luftröhre bildet den Stamm dieses Baumes, welcher zuerst gabelförmig sich in zwei Hauptäste teilt; es sind das die beiden großen Luftröhrenäste, die beiden großen Bronchien, von denen je einer zu einem Lungenflügel führt. Die beiden Lungenflügel oder, wie man sich wissenschaftlich ausdrückt, die rechte und die linke Lunge, bestehen im wesentlichen nur aus den Verästelungen der großen Bronchien, an welche sich die Blut- und Lymphgefäße mit den Nerven anschließen. Jeder der beiden großen Bronchien teilt sich zuerst wieder gabelförmig, ihre Zweige und die von diesen abgehenden, feiner und feiner werdenden Ästchen wiederholen diese Teilung, bis schließlich aus den größeren Röhren die feinsten hohlen Zweigrohre gebildet sind. Alle Verästelungen der großen Bronchien werden ebenfalls als Bronchien bezeichnet, die feinsten Bronchienästchen als kapillare Bronchien. Die letzteren erweitern sich schließlich in zartwandige, mehrfach ausgebuchtete Bläschen, Lungenbläschen, von etwa $^1/_2$ mm Größe, deren Gesamtzahl Huschke auf 1800 Millionen berechnet hat (S. 245). Wir haben im Baue der Lungen den Typus einer „traubenförmigen Drüse" vor uns, an den Endzweigen des vielverästelten Hohlstammes hängen die ebenfalls hohlen Lungenbläschen wie die Beeren einer Weintraube. Um der Luft in der Lunge freien Ein- und Austritt zu gestatten, sehen wir die äußeren häutigen Schichten der Luftröhre gestützt und ausgespannt durch an der Rückseite offene Knorpelringe. Ähnliche Knorpelringe zeigen auch alle größeren Äste der Luftröhre. In den feineren Bronchien wird die Gestalt der elastischen Knorpelstützen weniger regelmäßig; den feinsten, kapillaren Bronchien und den Lungenbläschen fehlen sie ganz. Ihre Stelle wird bei diesen durch zahlreiche „elastische Fasern" ersetzt, die übrigens auch in die Substanz aller Wandungen der Luftröhrenverzweigungen in Menge eingelagert sind. Die äußerste Schicht der Wandung der Luftröhre und größeren Bronchien besteht, wie bei allen animalen Röhren, aus einer äußeren häutigen Faserschicht; die mittlere Schicht der Luftröhrenwand bilden die Knorpelringe in Verbindung mit Muskelfasern, und die Schleimhaut kleidet als dritte Schicht die Innenwand der Luftröhre aus. Die Oberfläche der Schleimhaut der Luftröhre wird von einer Lage von langgestreckten, cylindrischen Zellen überzogen, welche an ihrer dem Hohlraum zugewendeten Fläche mit zahlreichen schwingenden haarförmigen Auswüchsen besetzt sind; wir erkennen in ihnen die im



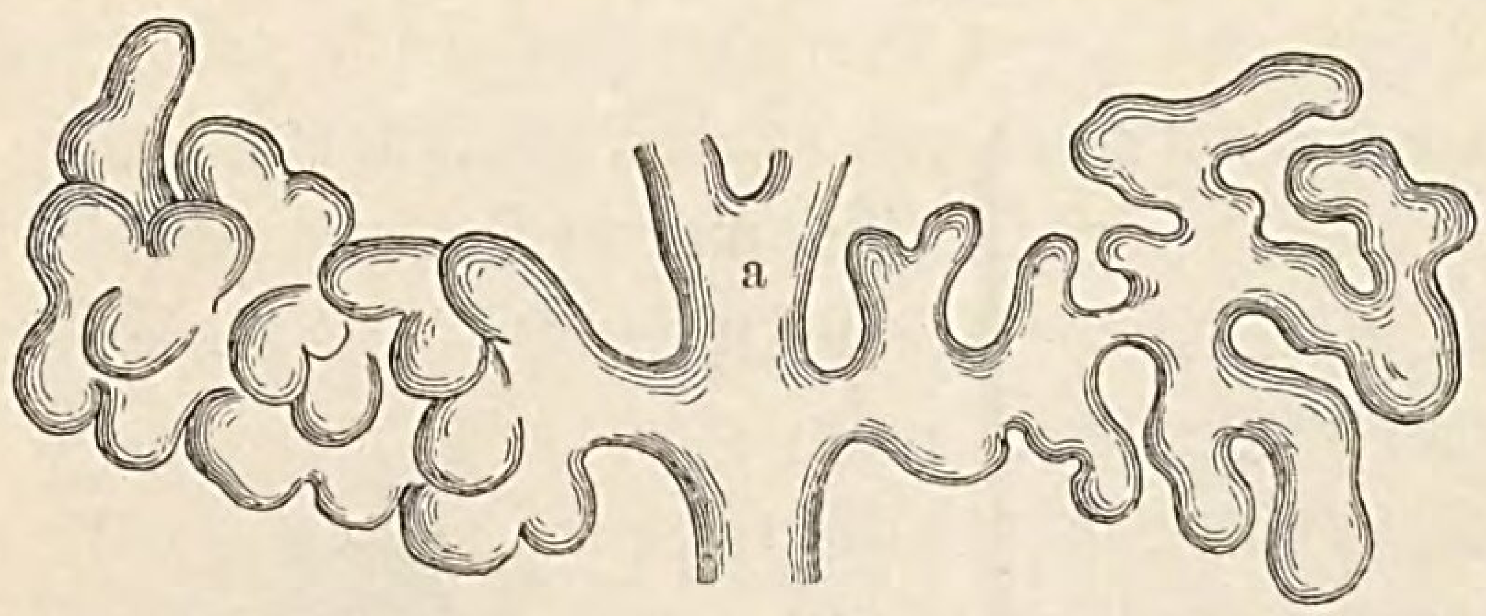
Schema der Drüsenbildung.



Darm des Hundeembryos, von unten, vergrößert.
a) Kiemenbogen, b) Schlund und Kehlkopfanlage, c) Lungen, d) Magen, f) Leber, g) Wände des Dottersackes, h) Enddarm.

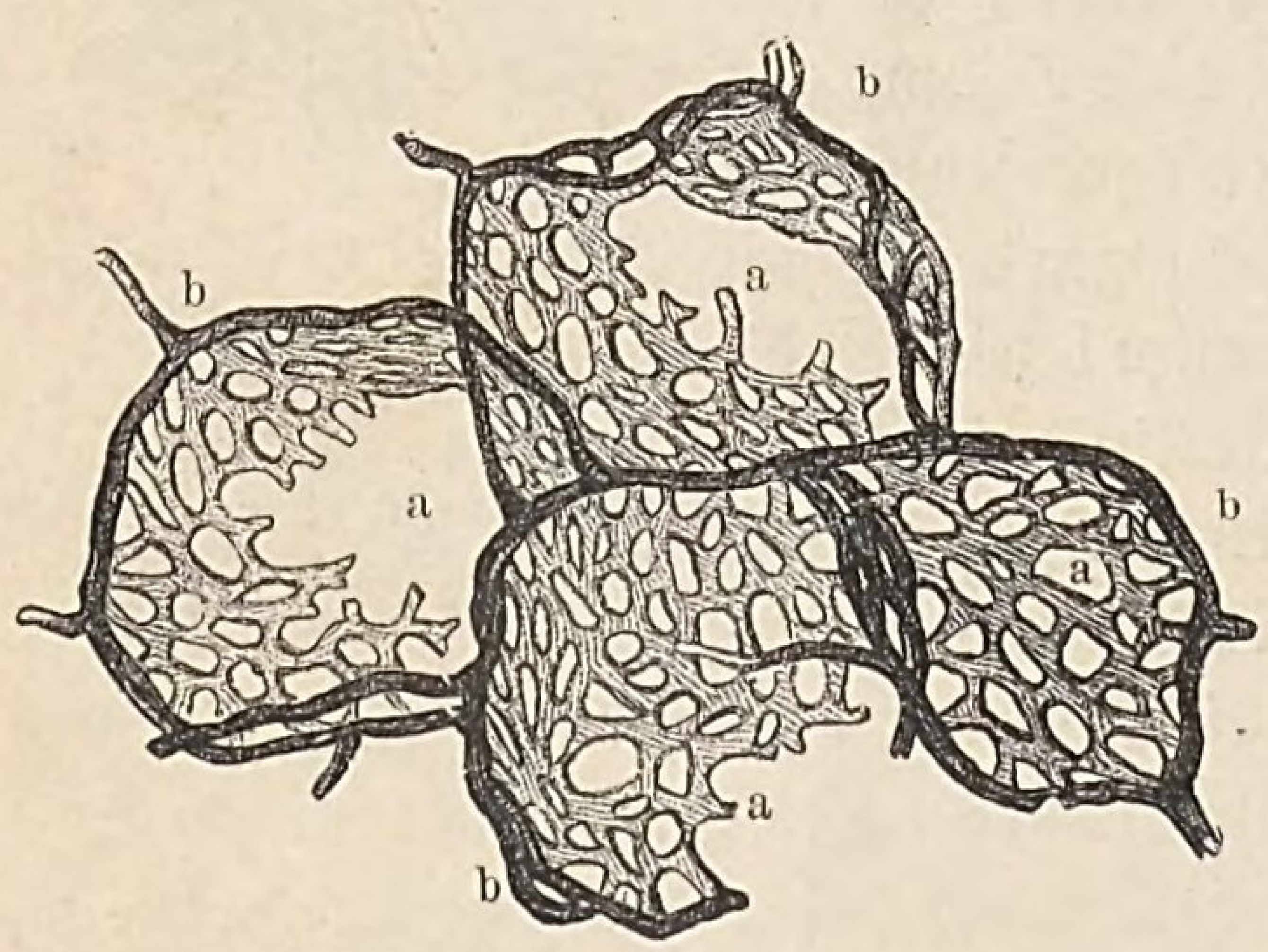
ersten Kapitel geschilderten „Flimmerzellen". In die Schleimhaut sind viele „Schleimdrüsen" eingebettet, welche, wie die ihnen auch im Baue entsprechenden und wie diese gleichsam das Schema kleiner, traubenförmiger Drüsen darstellenden Schleimdrüsen der Mundhöhle (s. untenstehende Abbildung), normal eine nur geringe Menge einer schleimigen Flüssigkeit absondern, welche die innere Oberfläche der Luftwege feucht und für die durchstreichende Luft schlüpfrig erhält.

Die feinsten Bronchialzweige finden sich in der ganzen Lunge, ebenso an der Oberfläche wie im Inneren. Sie verbinden sich, wie gesagt, mit den Lungenbläschen, den Lungenalveolen, in der Weise, daß jeder kapillare Brochienzweig sich mit einer Gruppe zusammenhängender kleinster Bläschen (Luftzellen) vereinigt, welche zusammen ein kleinstes Lungenläppchen, das Lungenbläschen, bilden. In der Bläschengruppe eines kleinsten Lungenläppchens stehen alle sie zusammensetzenden Hohlräume oder Ausbuchtungen in inniger, offener Verbindung und umschließen einen gemeinsamen Hohlraum, der sich aufwärts in einen einzigen kapillaren Bronchienzweig verwandelt. Jedes der Lungenbläschen oder kleinsten Lungenläppchen stellt also einen vielfach kugelig ausgebuchteten, birnförmigen Hohlraum dar, dessen als „Luftzellen" bezeichnete Ausbuchtungen sich alle durch ein trichterförmiges Verbindungsstück mit einem kapillaren Bronchus verbinden. Die Wandungen der Lungenbläschen bestehen nur aus einer mit zahlreichen elastischen Fasern durchsetzten Faserhaut und einer inneren, etwas unregelmäßigen Zellenschicht, welche, wie alle die äußeren oder inneren Flächen überkleidenden oder das Innere von Hohlorganen austapezierenden Zellenlagen und Zellenschichten, als „Epithel" bezeichnet wird. (S. Abbildung, S. 45.)



Schleimdrüse der Mundhöhle als Schema einer traubenförmigen Drüse; a) gemeinsamer Ausführungsgang.

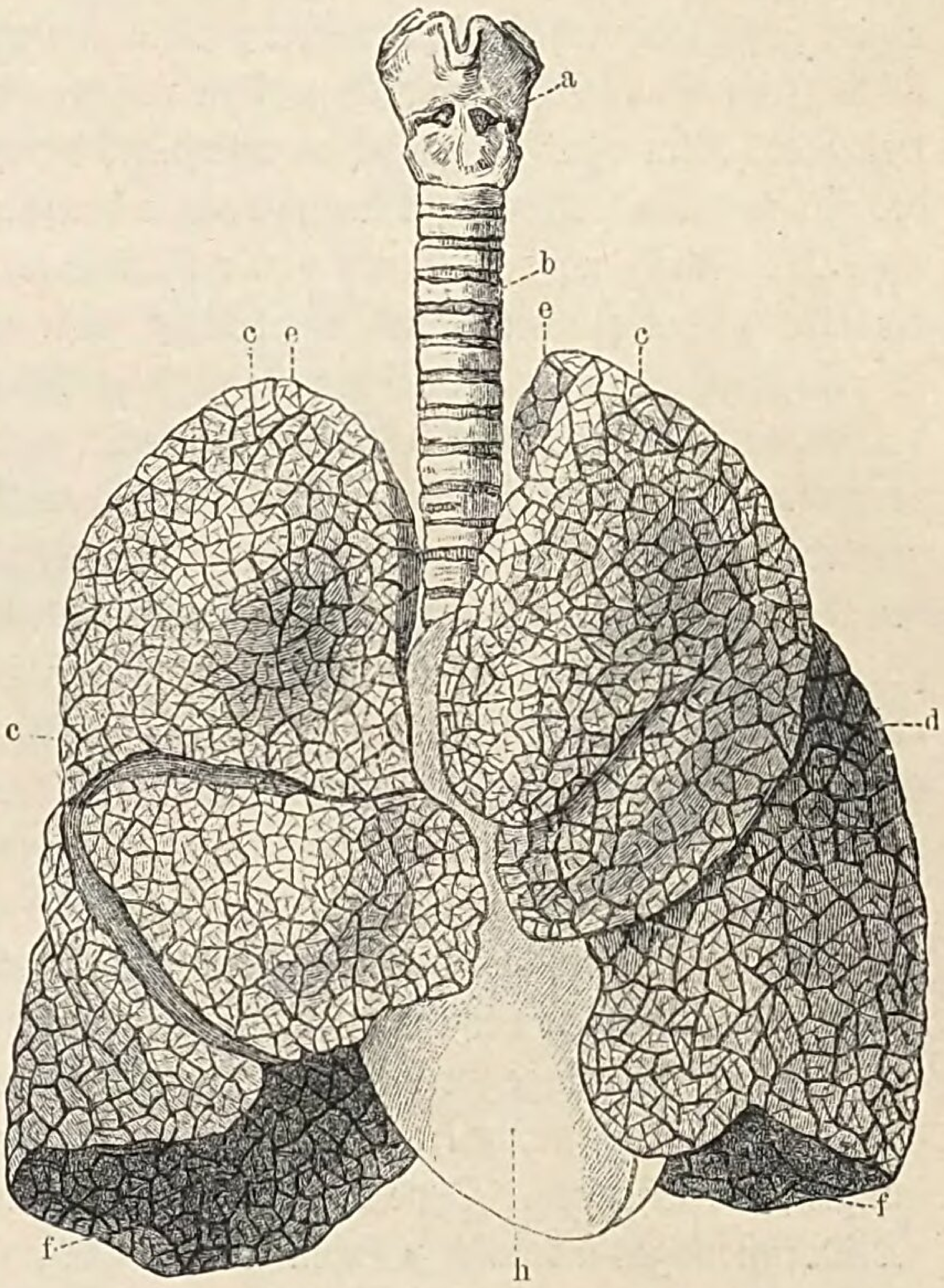
Die Kapillaren, in welche sich die Zweige der Lungenarterie auflösen, bilden in der Wand der Lungenbläschen das denkbar dichteste Netz (s. nebenstehende Abbildung) und ragen mit einem Teil ihrer Wandoberfläche ohne weitere Bedeckung durch Epithelzellen frei in die Hohlräume der Lungenbläschen. Nicht alle Haargefäße der Lunge stammen von der Lungenarterie ab. Die Lungenarterie führt, wie wir wissen, blaurotes, venöses Blut, welches für die Ernährung der Organe nicht mehr tauglich ist, also auch nicht zur Ernährung des Lungengewebes dienen kann. Zum Behufe der Ernährung erhält die Lunge noch eigne Ernährungsgefäße, die Bronchialschlagadern, aus dem Aortensystem, welche ihr Blut teils dem Kapillarnetz der Lungenarterie zumischen, teilweise aber in besondere, blaurotes Blut führende Venen, die Bronchialvenen, übergehen.



Die Lungenkapillaren.
a) Das respiratorische Kapillarnetz der Lunge, b) die Lungenbläschen.

Im ganzen betrachtet, erscheint die Lunge (s. Abbildung, S. 251) als zwei durch die Luftröhre vereinigte große, dünnwandige, mit Luft erfüllte elastische Säcke, Lungenflügel, jeder zusammengesetzt aus den Verzweigungen je eines großen Bronchus, Luftröhrenhauptastes, die mit Blutgefäßen, Nerven und Lymphgefäßen durch ein bindegewebiges Zwischengewebe zusammengehalten werden, und von außen sind sie überzogen von dem uns nach Bau und Bedeutung

schon bekannten Brustfell, Pleura. Der äußeren Gestalt nach sind die Lungenflügel zwei unregelmäßig halbkegelförmige Körper, jeder mit oberer abgerundeter Spitze, Lungenspitze, und unterer konkaver Endfläche, mit welcher sie auf dem gewölbten Zwerchfell aufstehen. An der inneren Fläche zeigt sich an jeder Lunge eine längliche, flache Vertiefung, die Lungenwurzel, in welcher die Luftröhrenäste, die Gefäße und Nerven der Lunge ein- und austreten. Die Lungenwurzel ist die einzige Stelle (abgesehen von dem unteren Ende des Hinterrandes), an welcher die Lungen mit anderen Organen zusammenhängen. Der ganze übrige Umfang der Lungenoberfläche ist frei und beweglich im Brustfellsacke. Darauf beruht es vorzüglich, daß die Lungen durch die Atmung sich so frei auszudehnen vermögen. Die rechte Lunge ist etwas größer als die linke, wie überhaupt die meisten korrespondierenden Organe der rechten Körperhälfte an Größe die der linken Körperhälte etwas übertreffen. Jede Lunge wird durch einen tiefen, von hinten her schräg nach vorn herabsteigenden Einschnitt in einen kleineren oberen und größeren unteren Lappen geteilt. Am oberen Lappen der rechten Lunge findet sich außerdem noch ein nicht so tiefer, beinahe horizontal verlaufender Einschnitt, welcher den Oberlappen in einen kleineren vorderen und größeren hinteren Lappen trennt. Die rechte Lunge hat daher drei, die linke nur zwei Lappen.



Die Lunge des Menschen.
a) Kehlkopf, b) Luftröhre, c) rechter, d) linker Lungenflügel, e) Lungenspitze, f) Lungenbasis, h) rechte Herzkammer.

Die Oberfläche jedes menschlichen Lungenlappens zeigt sich von einer Zeichnung kleiner, eckiger Felder überzogen, deren Grenzen bei dem Erwachsenen durch dunkle, blauschwarz gefärbte Linien und Streifen bezeichnet werden. Es sind das die Grenzen der zahlreichen Lungenläppchen, von welchen jedes aus der Verästelung eines Bronchialzweiges entsteht und selbst wieder aus einer Anzahl jener „kleinsten Lungenläppchen“ oder Lungenbläschen zusammengesetzt erscheint. Die Farbe der menschlichen Lungenoberfläche ist verschieden, je nach der mehr oder weniger starken Entwickelung von blauschwarzen Einlagerungen zwischen die Lungenläppchen, die Lungenfärbung schwankt zwischen Rosenrot und Blauschwarz. Aber nur die Lungen neugeborner Individuen zeigen sich noch annähernd frei von der Schwärzung durch den „Lungenfarbstoff“, welcher nach unzweifelhaften chemisch-mikroskopischen Beobachtungen zum großen Teil durch eingeatmeten und festgesetzten Staub, namentlich Kohlenstaub, hervorgebracht wird. Man hat an diesen schwarzen Einlagerungen mit dem Mikroskop noch die pflanzliche Struktur der eingeatmeten Kohlenstückchen nachweisen können. Auch Kieselsandstaub lagert sich in den Lungen ab. Bei Leuten, welche viel in Eisenstaub arbeiten, sind die Farbstofflinien zwischen den Lungenläppchen durch diesen Stoff rot gefärbt. Teilweise entsteht übrigens auch der dunkle Farbstoff der Lungen, wie jener in anderen Körperteilen, als Umwandlungsprodukt des Blutfarbstoffes.

Der gesamte Bau der Lungen scheint darauf berechnet, dem Blut in reichem Maße Gelegenheit zu geben, mit der Luft in Wechselbeziehung zu treten. In diesem Sinne wirkt, wie gesagt, vor allem die große Fläche, über welche das Blut in den Lungenbläschen ausgegossen wird. Auf S. 245 haben wir die Ausdehnung der inneren Lungenfläche nach Huschkes Bestimmungen auf 200 qm angegeben. Wir hörten, daß während einer Herzpulsation im Mittel nicht mehr als 180 g Blut über diese große Atemfläche ausgegossen werden, um aus den Lungen sofort in das linke Herz überzutreten. Diese 180 g Blut haben, da in der Minute normal wenigstens 70 Herzpulse erfolgen, nur 1/70 Minute Zeit, um mit der Luft in den Lungenbläschen sich in Diffusionsverkehr zu setzen. Aber diese geringe Zeit genügt bei den überaus günstigen Diffusionsverhältnissen zwischen Blut und Luft in den Lungen, um das Blut fast vollständig mit Sauerstoff zu sättigen, ihm nahezu die Gesamtmenge von Lebensluft zuzuführen, welche das Blut durch Gasdiffusion und durch die chemische Anziehung des roten Blutfarbstoffes, des Hämoglobins, überhaupt in sich aufzunehmen vermag.

Die Reinigung des Blutes von Kohlensäure ist dagegen, wie die mitgeteilten chemischen Analysen des arteriellen Blutes uns lehrten, nicht entsprechend vollkommen, immerhin aber doch so weitgehend, daß der vergleichsweise geringe Gehalt an Kohlensäure des arteriellen Blutes die belebenden Funktionen des letzteren auf die Organe und Zellen nicht mehr bemerkbar zu stören vermag. Der Grund für diesen übrigbleibenden Kohlensäuregehalt des in der Lunge arteriell gewordenen Blutes liegt in den eigentümlichen Bedingungen, unter welchen die Gasdiffusion in den Lungenbläschen zwischen Blut und Lungenbläschenluft stattfindet. Obwohl die zarten feuchten Wände, welche das Blut in den Lungenbläschen von der in letzteren enthaltenen Luft trennen, dem Gasverkehr des Blutes keinen bis jetzt meßbaren Widerstand entgegensetzen, so reicht doch ein ausschließlich nur auf Diffusion beruhender Verkehr des Blutes mit der Lungenbläschenluft ohne Atembewegungen überhaupt nicht hin, um in der geforderten kurzen Zeit von 1/70 Minute die für das Leben des Menschen erforderliche Erneuerung des Blutes, namentlich die Abscheidung der Kohlensäure desselben, zu bewirken. Die verhältnismäßig große Menge von Luft, welche in den Lungen eingeschlossen ist, steht mit der äußeren Atmosphäre nur durch die relativ engen äußeren Zugänge zur Luftröhre in offener Verbindung, bei geschlossenem Munde nur durch die beiden Nasenöffnungen und die von den Nasenhöhlen aus in den Rachen mündenden Öffnungen, die Choanen. Ohne Atembewegungen findet direkt nur an diesen engen Mündungen der Diffusionsgasaustausch zwischen Atmosphäre und Lungenluft statt. Der Gasaustausch wäre an sich viel zu gering, wenn er nicht durch die Atembewegungen eine sehr ausgiebige Unterstützung finden würde.

Aber auch dann, wenn die Atembewegungen ununterbrochen vor sich gehen, findet der Gasaustausch zwischen Blut und Lungenluft, wie wir das bei der Schilderung des Blutlebens erfahren haben, durch Diffusion zwischen der Luft der Lungenbläschen und ihrem Kapillarblut statt. Die Atembewegungen sorgen nur dafür, daß die durch die Aufnahme von Kohlensäure und Abgabe von Sauerstoff in den Lungenbläschen rasch zur Unterhaltung der Atmung unbrauchbar werdende Luft teilweise entfernt und durch neue sauerstoffreiche und kohlensäurearme atmosphärische Luft ersetzt wird. Die Lebensbedeutung der Atembewegungen ist also darin zu suchen, daß sie an Stelle der Lungenluft, die sich schon mit der gasförmigen Ausscheidung des Blutes beladen hat, und in welcher aus diesem Grunde die Stärke der Diffusionsvorgänge eine geringere geworden ist, neue, beinahe kohlensäurefreie atmosphärische Luft zuführt, mit welcher der Gasverkehr des Blutes ein entsprechend stärkerer sein kann. Die Atembewegungen halten die Intensität der Gasdiffusion zwischen Lungenluft und den Gasen des Blutes auf der bestimmten notwendigen Höhe.

Die Atembewegungen werden mit der gesamten Wand des Brustraumes ausgeführt. Bei der Einatmung dehnt sich der Brustraum mit den Lungen aus, erweitert sich. Die Folge davon ist, daß durch die Luftröhre und deren Zugänge Luft aus der Atmosphäre in ihn einstürzt. Bei der Ausatmung verengert sich der Brustraum wieder und treibt eine der eingeatmeten gleiche Luftmenge durch die Luftröhre wieder aus. Man hat deshalb den atmenden Brustraum mit einem Blasebalg verglichen. Durch die Ausatmung werden aber die Lungen keineswegs vollkommen von Luft entleert, sie enthalten auch nach der Ausatmung immer noch eine nicht unbeträchtliche Luftmenge; der Luftwechsel in den Lungen durch die Atembewegungen ist immer nur ein teilweiser. Die Erweiterung und Wiederverengerung des Brustraumes und dem entsprechend die Menge der aus- und eingeatmeten Luft ist bei ruhigem Atmen nicht bedeutend, sie beträgt etwa 500 ccm, wie man durch Messung der ausgeatmeten Luftmenge in einem als Atemmesser (Spirometer) bekannten einfachen Apparat leicht nachzuweisen vermag. Durch angestrengt tiefe Atembewegungen kann dagegen der Luftwechsel in den Lungen ein viel beträchtlicherer werden. Die größtmögliche Luftmenge, welche ein- und ausgeatmet werden kann, und die Hutchinson als „Vitalkapazität" der Lunge bezeichnete, beträgt bei Erwachsenen im Mittel etwas weniger als 3800 ccm. Doch auch nach der tiefsten Ausatmung bleiben in der Lunge immer noch zwischen 1200 und 1600 ccm Luft zurück, bei einer gewöhnlichen seichten Ausatmung aber die doppelte Menge, etwa 3000 ccm. Freilich wechseln diese Größen sehr beträchtlich bei verschiedenen Personen und Körperzuständen, namentlich mit Ruhe und Bewegung des Gesamtkörpers. Große Leute mit langem Brustraum haben entsprechend geräumigere Lungen, so daß auch ihre Vitalkapazität eine größere ist als bei Personen von kleinerer Statur und kürzerer Seite.

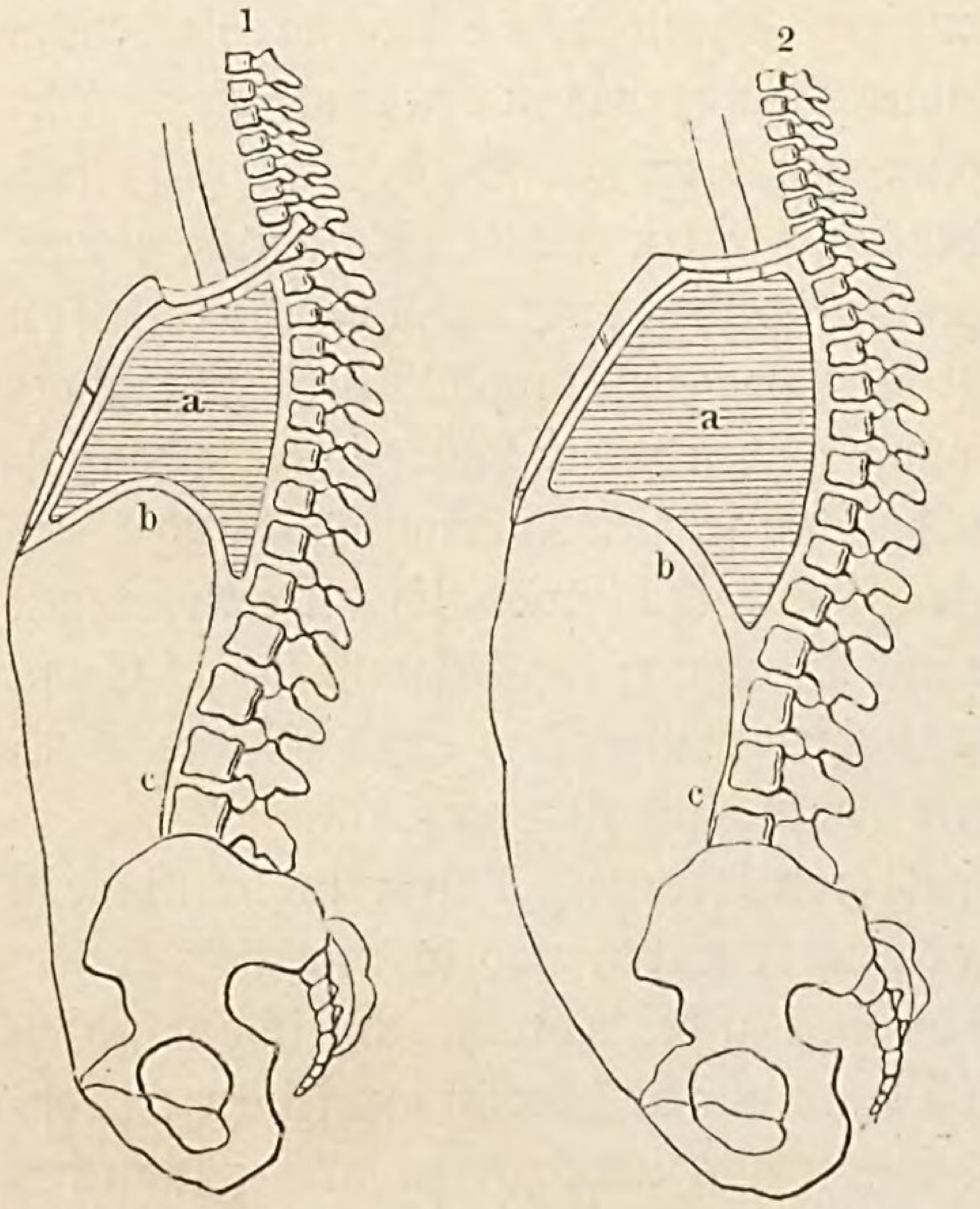
Immerhin ergibt sich, daß bei einer gewöhnlichen Atmung kaum mehr als ein Sechstel der in der Lunge enthaltenen Luft erneuert wird, und es unterliegt keinem Zweifel, daß diese Erneuerung sich wesentlich nur auf die Luft in der Luftröhre und in den großen Bronchien beschränkt. Die Lungenbläschen füllen sich dann nur aus der in den feineren Bronchien enthaltenen Luft, so daß die Erneuerung ihres Luftinhalts nicht so gründlich wie in den weiteren Hohlräumen der Lunge ist. Man hat durch direkte Beobachtung gefunden, daß die ganze Lungenbläschenluft stets einen nicht unbeträchtlichen Kohlensäuregehalt besitzt, und daß die direkt an den Lungenbläschenwandungen anliegende Luftschicht dieselbe relative Kohlensäuremenge enthält wie das Lungenblut selbst. Von dieser innersten Luftschicht aus findet also zunächst das auf Diffusion beruhende Abströmen der Kohlensäure in die übrigen Luftschichten der Lunge statt. Die so äußerst wohlthätige, erfrischende Wirkung tieferer Atemzüge, welche die Luft bis in die feineren Verzweigungen der Luftröhren direkt erneuern, ist uns aus dem Gesagten verständlich, und manche Störungen in unserem körperlichen Befinden, welche auch unser psychisches Leben alterieren, zwingen uns zu tieferen, seufzenden Atemzügen, werden aber ihrerseits durch dieses Seufzen gemildert und beseitigt.

Die Einatmung beruht auf aktiver Thätigkeit der Brustmuskulatur und des Zwerchfelles; die Erweiterung des Brustraumes erfolgt dabei teils durch Veränderung der Rippenstellung, teils durch Herabdrücken des Zwerchfelles (s. Abbildung, S. 254).

Die Rippen liegen um den Brustraum nicht als starre, unbewegliche Knochenringe. Ihre Gelenke, mit denen sie an den Wirbelkörpern, und die elastische Biegsamkeit ihrer Knorpel, mit denen sie sich an das Brustbein ansetzen, gestatten ihnen eine doppelte Bewegungsweise. Einerseits können sie mitsamt dem Brustbein durch die Wirkung der Brustmuskulatur etwas in die Höhe gezogen werden. Da die unteren Rippen weiter sind als die oberen, wird durch dieses Hinaufziehen der obere Brustabschnitt erweitert. Anderseits werden die Rippen bei der Einatmung auch etwas gedreht. Ihre konvexe Krümmung ist in der Ruhelage nach abwärts gewendet; durch

die Thätigkeit der auf sie wirkenden Atemmuskeln richtet sich ihre untere Konvexität nach auswärts, wodurch ebenfalls der die Lungen bergende Brustraum erweitert wird.

Eine sehr beträchtliche Vergrößerung des Brustraumes bewirkt das Herabdrücken des Zwerchfells. Das Zwerchfell wölbt sich im erschlafften Ruhezustand kuppelförmig in den Brustraum hinein. Durch die Zusammenziehung seiner Muskelfasern, welche bei der Einatmung erfolgt, flacht sich die Zwerchfellwölbung ab, und der Brustraum wird dadurch um den ganzen Unterschied in der Kuppelausdehnung des Zwerchfells nach unten gegen den Bauchraum erweitert. Das herabrückende Zwerchfell übt bei der Einatmung einen Druck auf die Baucheingeweide aus, welche sich dann durch entsprechende Ausdehnung der Bauchwand Raum verschaffen müssen. Die Atembewegungen des Zwerchfelles sind daher von Hebung und Senkung der Unterleibsoberfläche begleitet.



1) Ausatmungsstellung, 2) Einatmungsstellung des Brustraumes: a) Brustraum, b) Zwerchfell, c) Bauchraum.

Bei ruhigem Atmen wirken vorzüglich die Zwischenrippenmuskeln und das Zwerchfell. Bei angstvoller Atembehinderung kommen dagegen alle Brustmuskeln in Thätigkeit, und wir sehen dann alle Zugänge zu der Luftröhre erweitert: der Mund ist geöffnet, die Nasenflügel spielen, die Stimmritze erweitert sich, um der zuströmenden Luft möglichst Raum frei zu machen. Bei dem weiblichen Geschlecht pflegt, großenteils bedingt durch die Kleidung, bei der Einatmung die Thätigkeit der Brustmuskeln zu überwiegen, bei dem männlichen Geschlecht dagegen die Thätigkeit des Zwerchfelles, wonach diese beiden Einatmungstypen als Rippenatmen und Bauchatmen unterschieden werden (s. Abbildungen, S. 196).

Im Gegensatz zu dem Einatmen ist die normale Ausatmung ein rein passiver Vorgang. Bei dem Aufhören des nervösen Einatmungsreizes dehnt sich das zusammengezogene und herabgerückte Zwerchfell wieder aus, und die vorhin von ihm gedrückten Baucheingeweide wölben es wieder in den Brustraum hinauf. Die Rippen sinken, nachdem die Brustmuskeln keinen Zug mehr auf sie ausüben, durch ihre Elastizität, unterstützt durch die eigne Schwere, in ihre Ruhelage zurück. Vor allem aber sind die Lungen, welche während der Einatmung stark ausgedehnt wurden, selbst bestrebt, durch das Wirksamwerden ihrer hohen elastischen Kräfte sich selbst und damit den mit ihnen durch den Luftdruck fest verbundenen Brustraum wieder zu verengern. Bei gehemmter, angstvoller Ausatmung kommen jedoch auch bei der Ausatmung Muskeln in Thätigkeit: die inneren Zwischenrippenmuskeln und vor allen die Bauchmuskeln, welche die Rippen nach abwärts ziehen und das Zwerchfell durch den dadurch verstärkten Druck im Unterleib stärker in die Höhe wölben.

Hier ist der Ort, wo wir uns die Art der Befestigung der Lungen im Brustraum noch etwas näher anzusehen haben, auf welcher der „Saugdruck", der negative Druck, im Brustraum beruht, den wir für die Bewegung des Herzens und namentlich für den Lauf des venösen Blutes und der Lymphe von so entscheidender Bedeutung gefunden haben (S. 209).

Die Lungen sind so in den Brustraum eingefügt, daß sie allen seinen Bewegungen Folge leisten müssen; sie liegen mit ihrer Oberfläche der Innenfläche des Brustraumes dicht an. Der

Brustraum ist aber auch während der Ausatmung, noch viel mehr jedoch während der Einatmung gleichsam zu weit für die natürliche Größe der Lungen. Um den ganzen Anteil am Brustraum auszufüllen, der ihnen angewiesen ist, müssen die elastischen Lungensäcke durch die Wirkung des Luftdruckes ausgedehnt werden. Daher rührt der elastische Zug, welchen die Lungen beständig, aber in verstärktem Maße während der Einatmung, nicht nur auf die Innenfläche des Brustraumes, sondern auch auf alle benachbarten inneren Organe ausüben. Ihrem Bestreben, sich zu verkleinern, entspricht es, daß sie alle Organe, denen sie anliegen, gleichsam in sich, in den Lungenraum, hereinziehen. Auf die Brustwände wirkt dieser elastische Zug der Lungen im Sinne der Ausatmungsstellung, auf die im Brustraum mit den Lungen eingeschlossenen, von den sich zu verkleinern bestrebten Lungen allseitig umgebenen Hohlorgane im Sinne einer Ausdehnung.

Die innige Befestigung der Lungenoberfläche an die Innenwand des Brustraumes ist normal nicht durch Verwachsung bewirkt, im Gegenteil stören krankhafte Verwachsungen der Lungenoberfläche mit der Innenwand der Brust oder mit dem Zwerchfell die Lungenbewegungen bei der Atmung. Die normale Befestigung der Lunge an die Brustwand ist, wie wir schon mehrfach erwähnt haben, lediglich durch die Wirkung eines einseitig gesteigerten Luftdrucks hervorgebracht. Zwischen der Innenfläche der Brust und der Lungenoberfläche befindet sich keine Luft, der Luftdruck ist hier also gleich Null. Dagegen drückt die ganze Luftsäule der Atmosphäre auf die durch die Luftröhre in offener Verbindung mit ihr stehende, in den Lungen enthaltene Luft und dehnt dadurch alle Hohlräume der Lunge ihrer Elastizität und dem gegebenen Raum entsprechend aus. Somit wird durch den einseitigen, von innen her wirkenden Luftdruck die Lungenoberfläche an die Innenfläche der Brust vollkommen angedrückt, wie die Ränder der ausgepumpten Glocke einer Luftpumpe auf ihren Teller. Die durch die Brusthöhlenflüssigkeit feucht gehaltenen Brustwände gestatten den ebenso angefeuchteten Lungenwänden lediglich Bewegung durch Verschiebung und Gleiten. Aber dieser ganze Zauber der Befestigung hört in dem Augenblick auf, in welchem durch eine Brustwunde der Luft von außen her ein Zugang zwischen Lunge und Brustwand eröffnet wird. Die Luft dringt durch die feine Stichmündung, welche etwa ein Stoßdegen geöffnet hat, pfeifend und zischend herein, der Lungenflügel sinkt sofort, da nun der Luftdruck von innen und außen gleich ist, auf seine natürliche Größe zusammen und trennt sich damit von der Brustinnenwand. Erst wenn die Wunde wieder verschlossen, die zwischen Brustwand und Lungenoberfläche hereingekommene Luft im Heilungsprozeß aufgesaugt und verschwunden ist, dehnt sich die Lunge wieder aus und legt sich von neuem an die Brustwand an, um nun wieder allen Bewegungen derselben bei der Atmung zu folgen.

Daß forcierte Ausatmungsbewegungen den Brustraum zusammendrücken und dadurch die Lungen sogar noch unter ihre natürliche Ausdehnung verkleinern können, haben wir schon bei der Besprechung des Blutlaufes erwähnt. Wir fanden diesen durch einen positiven Druck im Brustraum, der infolge dieser übermäßigen Zusammenpressung der Lungen entsteht, wesentlich gehindert, ja aufgehoben.

Im gewöhnlichen, ungestörten Verlaufe des Lebens erfolgen die Atembewegungen unwillkürlich, ohne daß unser Bewußtsein davon irgendwie Notiz nimmt. Wir vermögen aber auch die Atembewegungen willkürlich anzuregen, in ihrem Rhythmus und in ihrer Tiefe zu verändern, für kurze Zeit auch ganz zu unterbrechen. Es ist das ein wesentlicher Unterschied zwischen Atembewegungen und Herzbewegungen, da wir auf letztere willkürlich direkt so gut wie keine Einwirkung auszuüben im stande sind. Und doch zeigen die nervösen Vorgänge bei der Atmung und bei der Herzbewegung gewisse unverkennbare Ähnlichkeiten.

Wenn wir die Atmung auf kurze Zeit willkürlich unterbrochen haben, so zwingt uns sehr bald die „Atemnot" zu unwillkürlichen verstärkten und beschleunigten Atembewegungen zum

Beweise, daß normal die Atembewegungen durch einen nervösen Mechanismus angeregt werden, der ohne unser Zuthun „automatisch“, zum Teil auch reflektorisch gereizt, wirksam wird. Das nervöse Zentrum für diese komplizierte Reihe von Bewegungen, die wir mit der Atmung verbunden sehen, das Atemzentrum, ist in einer eng umschriebenen Stelle des verlängerten Markes, des in der Schädelhöhle gelegenen Verbindungsstückes des Gehirns mit dem Rückenmarke, gelegen und zwar in der Ursprungsstelle des uns von der Herzbewegung her bekannten „herumschweifenden Nerven“, des Nervus vagus oder Lungen-Magennerven, und des bei ihm entspringenden Beinnerven, des Nervus accessorius. Diese begrenzte Stelle im nervösen Zentralorgan wird als Lebensknoten oder Lebenspunkt bezeichnet. Die Jäger kennen sie, es ist dieselbe Stelle, in welche sie dem angeschossenen Tiere den Hirschfänger einstoßen, um dadurch das Atmen und mit diesem das Leben sofort zu vernichten. Vom Atemzentrum aus werden die Atemnerven, namentlich die Zwerchfellsnerven und die äußeren Brustwandnerven, in Thätigkeit versetzt, um dann ihrerseits die Atemmuskulatur zur Thätigkeit anzuregen. Aber auch ein „regulierender“ Antrieb pflanzt sich ununterbrochen von dem Atemzentrum aus auf die Atembewegungen fort. Wie für die Herzbewegung, so besorgt auch für die Bewegungen des Atemapparates der herumschweifende Nerv, der Nervus vagus, die Regulierung, bei der Atmung in Verbindung mit einem Nerven der Kehlkopfschleimhaut, dem oberen Kehlkopfnerven; unter ihrem Einfluß stehen Ein- und Ausatmung. Auf die regulierende Thätigkeit der Atemnerven können wir einerseits willkürlich einwirken, andererseits steht sie unter dem Einfluß von nervösen, reflektorischen Einwirkungen. Hautreize, aber auch Reize, welche von den Eingeweiden ausgehen, wirken auf den Atemrhythmus. Wie stark die Reizung der Kehlkopfschleimhaut auf die Atembewegungen wirkt, können wir aus den auf Kehlkopfreizung folgenden Hustenstößen abnehmen, welche nichts als plötzliche und gezwungene, reflektorische, Ausatmungsbewegungen sind. Das Niesen, meist auf Reizung der Nasenschleimhaut eintretend, charakterisiert sich ebenfalls als ein plötzlicher Ausatmungsstoß durch die Nase, welchem eine tiefe, seufzende Einatmung vorausgeht.

Die normale Erregung des nervösen Atemzentrums erfolgt unter gewissen chemischen Veränderungen in demselben, welche durch Mangel an Sauerstoff im Blute hervorgerufen werden. Die Tiere atmen nicht, solange ihr Blut vollkommen mit Sauerstoff gesättigt ist. Alles, was den Sauerstoffverbrauch im Organismus steigert: Muskelbewegung, Fieber, Entzündungen, gesteigerte Körpertemperatur, beschleunigt den Atemrhythmus. Namentlich wirkt in diesem Sinne die Muskelanstrengung. Puls- und Atemfrequenz steigen dabei ziemlich gleichmäßig. Alle Momente, welche wir auf die Veränderung der Herzpulsation wirksam fanden, üben eine ähnliche Wirkung auch auf die Atembewegungen aus: Verdauung, Gemütsbewegung, Schwächezustände. Das weibliche Geschlecht zeigt meist eine größere Häufigkeit, aber geringere Tiefe der Atemzüge als das männliche.

Die Atembewegungen reagieren auf alle die genannten Einflüsse sogar meist noch viel rascher und energischer als die Herzbewegungen. Schon infolge geringer Muskelbewegungen sehen wir z. B. den Atemrhythmus beschleunigt, noch früher, als wir eine Vermehrung der Herzpulse nachweisen können. Schon dadurch, daß wir unsere Aufmerksamkeit auf die Atembewegungen richten, verändern wir ihre gewöhnliche Folge. Wollen wir bei irgend jemand die normale Zahl der Atemzüge in der Minute bestimmen, so müssen wir das ohne sein Vorwissen thun. Hutchinson zählte bei nahezu 2000 Personen ohne ihr Vorwissen die Atemzüge, und es stellte sich dadurch heraus, daß die größte Mehrzahl der Engländer zwischen 16- und 24mal in der Minute atmet. Dabei kamen 20 Atemzüge in der Minute bei den Engländern weitaus am häufigsten vor, bei Amerikanern der verschiedensten Rassen ist dagegen nach Gould die am häufigsten beobachtete Zahl 16 Atemzüge in der Minute. Die geringste Anzahl der Atemzüge bei Gesunden war nach

Hutchinson 9, die höchste 40 in der Minute, beide gleich selten. Während eines Atemzuges pulsiert also bei den Engländern nach Hutchinson das Herz im Durchschnitt etwa viermal. Daß sich auch hierin beträchtliche Differenzen bei anderen Völkern ergeben haben, wurde schon oben hervorgehoben.

Bezüglich der Alterseinflüsse zeigen Herz- und Atemrhythmus weitgehende Ähnlichkeiten. Wie die Zahl der Herzpulse, so sinkt auch die normale Häufigkeit der Atembewegungen von der Geburt bis zur vollen Körperentwickelung (Pubertät); von hier an bleibt während des kräftigsten Mannesalters die Zahl der Atemzüge etwa gleich, um im späteren Alter vielleicht wieder etwas zuzunehmen. Hierfür verdanken wir die bekanntesten Zählungen Quételet. Er fand, daß die mittlere Häufigkeit der Atemzüge in der Minute bei seinen Landsleuten in Belgien betrug: neugeborenes Kind 44, 5 Jahre alt 26, 15—20 Jahre alt 20, 20—25 Jahre alt 18,7, 25—30 Jahre alt 16, 30—50 Jahre alt 18,1.

Mit diesen vergleichsweise außerordentlich großen Schwankungen der Atemfrequenz unter dem Einfluß schwer kontrollierbarer äußerer und innerer Bedingungen, zu welchen wir in der Folge noch den Einfluß des Luftdruckes werden hinzukommen sehen (mit der Erhebung über der Meeresfläche steigt die Atemfrequenz), wird die ethnographische Bedeutung der bis jetzt ausgeführten Zählung der Atemzüge bei Vertretern verschiedener Rassen und Völker sehr herabgedrückt. Auch die Messungen der Vitalkapazität der Lungen hat als ethnographisches Hilfsmittel noch wenig oder, sagen wir besser, nichts Positives geleistet. Immerhin versprechen Untersuchungen mit voller Berücksichtigung der notwendigen Kautelen nach beiden Richtungen interessante Aufschlüsse.

Wie wir oben die Arbeitsleistung bestimmt haben, welche das Herz bei einem Herzpuls und während eines ganzen Tages leistet, so sind wir auch im stande, die Arbeit zu berechnen, welche bei dem normalen Verlauf der Atmung von der Atemmuskulatur geleistet wird. Bei gewöhnlichem Einatmen wird die Summe der Widerstände, welche der Ausdehnung der Lungen und der Brust entgegensteht, durch die Thätigkeit von Muskeln überwunden. Donders berechnete, abgesehen von der Drehung der Rippen, welche immerhin noch einen keineswegs unbeträchtlichen Kraftaufwand erfordert, das Gewicht, welches bei einer ruhigen Einatmung gehoben werden muß, auf 42,8 kg.

Die Atemgase.

Im allgemeinen kennen wir die chemischen Veränderungen schon, welche die Luft in den Lungen erleidet. Ein Teil ihres Sauerstoffes wird ihr entzogen, dafür wird ihr dem Volumen nach ziemlich das gleiche, stets etwas geringere, Volumen Kohlensäuregas zugemischt. Da die Luft in den Lungen in dem ausgiebigsten Wechselverkehr mit den wässerigen Flüssigkeiten des Lungengewebes, namentlich mit dem Blute, steht, so entweicht sie bei der Ausatmung mit Wasserdampf gesättigt und gleichzeitig auf die Normaltemperatur des Menschen, etwa 37° C., erwärmt. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Luft mehr Wasser bis zur Sättigung mit Wasserdampf auf; wir sehen deshalb, wenn wir in kalter Luft ausatmen, das dunstförmige Wasser der sich abkühlenden Atemluft als Nebel oder an kalten Wintertagen als Reif verdichtet. Der Mensch, wie alle warmblütigen Tiere, scheidet in der Gesamtatmung durch Lungen und Haut, abgesehen von den bisher besprochenen, auch noch in geringen Mengen andere Gase aus, welche namentlich durch Gärungsvorgänge im Verdauungskanal gebildet werden und von hier aus in die Atemluft gelangen. Von diesen erreicht nur die Abgabe von Kohlenwasserstoff (CH_4) und Wasserstoff eine

irgendwie beträchtlichere Quantität, während von Ammoniak und Schwefelwasserstoff nur minimale Spuren ausgeschieden werden. Die Aufnahme und Abgabe von Stickstoff in das Blut und aus demselben erscheint dagegen bis jetzt lediglich vom Luftdruck und der Temperatur abhängig, denen entsprechend sie steigt und fällt. Da mehr Sauerstoff aufgenommen, als Kohlensäure abgegeben wird, so vermindert sich bei der Atmung das Luftvolumen etwas, etwa um 1 Prozent.

Ein gesunder Mann von 57 bis 58 kg Körpergewicht nimmt bei normaler, nur durch den Appetit geregelter Ernährung und relativer Körperruhe in ruhiger, gewöhnlicher Atmung während einer Minute im Mittel 7,52 Lit. (wasserfrei gemessener) Luft auf und atmet in gleicher Zeit 7,48 L. Luft (ebenfalls wasserfrei gemessen) aus. Dabei tritt im Mittel 0,518 g Sauerstoff in das Blut ein, während 0,619 g von der spezifisch schwereren Kohlensäure aus dem Blute in Ausatemluft abgegeben wird. Während die eingeatmete gute atmosphärische Luft nur verschwindende Spuren von Kohlensäure enthält, etwa 0,05 Volumprozent, schwankt der Kohlensäuregehalt der Ausatemluft zwischen 3,4 und 5,5 Prozent[1].

Nehmen wir 16 Atemzüge im Verlauf einer Minute an, so verbraucht jeder Atemzug 0,0324 g Sauerstoff und gibt dafür 0,0388 g Kohlensäure aus. Bei der Verbindung von Sauerstoff mit Kohlenstoff bildet ein Volumen Sauerstoff das ihm gleiche Volumen Kohlensäure, welch letzteres aber, da die Kohlensäure spezifisch schwerer ist als Sauerstoff, entsprechend mehr wiegt als das erstere. Wenn wir also bemerken, daß in der Atmung dem Volumen nach weniger Kohlensäure auftritt, als Sauerstoff verschwindet, so heißt das unter den nötigen Einschränkungen nichts anderes, als daß ein Teil des Sauerstoffes im Organismus zu anderen chemischen Verbindungen als mit Kohlenstoff zu Kohlensäure verwendet worden ist. Da wir wissen, daß alle Elementarstoffe der organischen Körperteile im Lebensprozeß sich mit Sauerstoff verbinden und als Sauerstoffverbindungen, der Wasserstoff z. B. als Wasser, aus dem Organismus ausgeschieden werden, so kann uns dieses Verhältnis nicht wundernehmen. Ein sehr geringer Anteil von Kohlensäure scheidet aber auch aus dem Körper in wässeriger Lösung aus: die Nierenausscheidung und der Schweiß enthalten freie Kohlensäure gelöst.

Aus den eben gemachten Angaben können wir den Gesamtverbrauch eines Erwachsenen unter den angegebenen Lebensbedingungen während eines Tages oder jeder anderen beliebig gewählten Zeitperiode berechnen. Während eines Tages berechnet sich der Sauerstoffverbrauch im Mittel auf etwa 750 g (genau 740 g), die Kohlensäureausgabe während der gleichen Zeit auf etwa 900 g (genau 891 g). Etwa 14 Prozent des aufgenommenen Sauerstoffes erscheinen nicht in der ausgeatmeten Kohlensäure wieder, weil sie im Organismus zu anderweitigen chemischen Verbindungen mit Elementarstoffen Verwendung finden. Diese mittleren Zahlen schwanken aber beträchtlich nach den verschiedenen Verhältnissen des atmenden Körpers.

Das Bedürfnis nach Sauerstoff wächst mit den zunehmenden mechanischen Leistungen des Gesamtkörpers, d. h. mit der Arbeitsleistung seiner Organe, im letzten Grunde mit der Arbeitsleistung seiner Zellen (und Zellenabkömmlinge). Wir haben ja als Quelle der mechanischen Kraft für den Organismus den Vorgang einer organischen Verbrennung, einer Stoffzersetzung unter Sauerstoffaufnahme, kennen gelernt. Der Sauerstoffverbrauch der Zelle, welcher sich bei ihrer Arbeitsleistung steigert, erscheint als die regulierende Einrichtung für die Sauerstoffaufnahme aus

---

[1] Die wichtigsten Veränderungen der chemischen Zusammensetzung der Luft infolge einer Atmung ergeben sich aus der folgenden kleinen Tabelle:

Stickstoff . . .	79,2 Einatmungsluft,	79,2 Ausatmungsluft,	0,0 Differenz,
Sauerstoff . . .	20,8 "	15,4 "	—5,4 "
Kohlensäure . .	0,0 "	4,4 "	+4,4 "
Volumina:	100,0 Einatmungsluft,	99,0 Ausatmungsluft,	—1,0 Differenz.

dem Blute in die Organe und aus der Atemluft in das Blut. Mit der gesteigerten mechanischen Leistung des Gesamtorganismus, welche die Summe der mechanischen Leistungen seiner Zellen ist, also mit dem Stoffverbrauch der Zellen, steigt die Sauerstoffaufnahme. Alles, was die Lebensthätigkeit im Gesamtorganismus, in dessen Organen, in dessen Zellen, erhöht, erhöht auch die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe in der Atmung. Daraus erklärt sich, daß Nahrungsaufnahme und Nahrungsenthaltung, Schlaf und Wachen, Arbeit und Ruhe, Erniedrigung und Erhöhung der Lufttemperatur, Sonnenschein und trübes Wetter und vieles andere bei dem gleichen Individuum wesentliche Änderungen in der Quantität der in der Atmung gewechselten Gase hervorbringen müssen. In diesem Sinne erklärt sich die innige Abhängigkeit, in welcher der Chemismus der Atmung von den Tageszeiten bei normalen Lebensgewohnheiten steht. Die Menge der ausgeatmeten Luft und der in ihr enthaltenen Kohlensäure ist während der Nacht am geringsten, einige Zeit nach dem Mittagsessen am größten. Dagegen sinkt nach Alkoholgenuß die Kohlensäureabgabe in der Atmung sofort. Durch äußere Erniedrigung der Temperatur steigt sowohl die Sauerstoffaufnahme als die Kohlensäureabgabe des Menschen. Bei Tieren hat man die steigernde Einwirkung des Lichtes auf die Atmung sichergestellt. Außerordentlich mächtig wirkt aber namentlich gesteigerte Muskelanstrengung auf die Gesamtatmung; sie steigert die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäureabgabe in noch höherem Maße als selbst die Nahrungsaufnahme.

Die Beobachtungen an einem 24 Jahre alten gesunden männlichen Individuum von 72 kg Körpergewicht über den Einfluß der Nahrung auf die Kohlensäureausscheidung haben ergeben, daß die letztere durch Nahrungsenthaltung beträchtlich herabgedrückt, durch Nahrungsaufnahme dagegen nicht weniger gesteigert werden kann. Bei einer Nahrung, welche eben hinreichte, den Körper auf seinem Gewicht zu erhalten, betrug die Kohlensäureabgabe während 24 Stunden 760 bis 790 g; bei vollkommener Nahrungsenthaltung sank die Kohlensäureausscheidung während des zweiten Hungertages in 24 Stunden auf nur 663 g, stieg aber bei einer Aufnahme von sehr reichlicher Nahrung auf 925 g im Tage. Durch achtstündige starke Muskelarbeit wurde an einem anderen männlichen Individuum die während des Hungerzustandes 695 g in 24 Stunden betragende Kohlensäureausscheidung auf 1187 g in der gleichen Zeit erhöht, durch reichliche Nahrungsaufnahme allein ohne Arbeit stieg die Kohlensäureabgabe in 24 Stunden nur auf 912 bis 930 g. Die Mehrung der Kohlensäureausscheidung durch Muskelarbeit betrug bei der letzteren Person im Hungerzustand, also ohne gleichzeitige Arbeit der Verdauungsorgane, 392 g; durch die gewöhnliche Verdauungsarbeit allein ohne Muskelarbeit beträgt die Steigerung 217—235 g, bei der ersteren Versuchsperson 127—262 g. In diesen beiden Mehrungen der Kohlensäureabgabe durch Verdauung und Muskelarbeit haben wir einen vorläufigen Anhalt zur Vergleichung der auf die Verdauungsarbeit und der auf die achtstündige Muskelarbeit eines Handwerkers verwendeten Summe mechanischer Kraft, wie wir aus der Bestimmung der Kohlensäuremenge, welche aus dem Schlote einer Dampfmaschine entweicht, auf die Menge der verbrannten Kohle schließen und daraus die Summe von mechanischer Kraft berechnen können, die in einer gegebenen Zeit der Dampfmaschine als Wärme zugeführt wurde. Mit den nötigen Einschränkungen ergibt diese Vergleichung der ausgeatmeten Kohlensäuremengen wenigstens so viel, daß der Stoff- und Kraftverbrauch für die achtstündige angestrengte Muskelarbeit nur etwa die doppelte Größe erreicht, welche unser Organismus für die Aneignung und die Verarbeitung einer reichlichen Nahrung in 24 Stunden aufwenden muß. Dieser Kraftverbrauch für die Zwecke der Ernährung fällt nur zum Teil auf die Arbeit der eigentlichen Verdauungsorgane, ein anderer Teil bezieht sich auf die mit der Nahrungsverarbeitung verbundene Steigerung anderer Organfunktionen, von denen wir die Steigerung der Herz- und Atembewegungen schon näher kennen gelernt haben. Der aus der Kohlensäureausatmung zu schätzende Stoff- und Kraftverbrauch des hungernden Menschenkörpers

eröffnet uns einen Blick in die Arbeitsgröße seiner Organe und Zellen, welche erforderlich ist, um das Leben eines Erwachsenen während 24 Stunden zu erhalten. Diese Kraftsumme erscheint danach etwa doppelt so groß wie jene, welche der Arbeiter in achtstündiger angestrengter mechanischer Arbeit nach außen verbraucht.

Man hat schon früher aus den Beobachtungen zahlreicher Forscher eine Reihe zusammengestellt, die, freilich ohne Berücksichtigung der verschiedenen Ernährungsweisen und der wechselnden Thätigkeit der Organe, eine Abhängigkeit der auf eine Stunde treffenden Kohlensäureabgabe in der Atmung von dem Lebensalter zu zeigen scheint. Bei dem Manne nimmt nach diesen Angaben mit zunehmender Körperentwickelung auch die stündlich ausgeatmete Menge von Kohlensäure zu, mit der abnehmenden Körperkraft im höheren Alter sinkt die Abgabe wieder.

Es atmeten Kohlenstoff aus in einer Stunde männliche Personen im Alter von

8—14 Jahren	6,8 Gramm	61— 70 Jahren	10,2 Gramm
15—25 „	10,7 „	71— 80 „	6,0 „
26—60 „	10,5 „	81—102 „	7,3 „

Ähnlich, aber etwas weniger ausgesprochen, fand sich das Verhältnis bei Frauen.

Diese Einflüsse des Lebensalters können jedoch vollkommen verdeckt werden durch Verschiedenheiten in der Nahrungsaufnahme. Es schwankte die stündliche Kohlenstoffausscheidung bei dem oben erwähnten jungen Manne von 24 Jahren je nach der aufgenommenen Nahrungsmenge zwischen 7,5 und 10,5 g.

Der gesteigerten Kohlensäureabgabe in der Atmung steht, wie wir hörten, stets eine entsprechend erhöhte Sauerstoffaufnahme gegenüber. Während der oben besprochene Arbeiter an einem Ruhetage ohne Muskelarbeit in 24 Stunden etwa 700 g Sauerstoff aufnahm, stieg diese Aufnahme am Arbeitstage auf 1284 g.

Die Gesamtwassermenge, welche der menschliche Organismus in der Atemluft aus Haut und Lungen als Wasserdampf während 24 Stunden abgibt, schwankt bei Körperruhe etwa zwischen 800 und 1000 g. Auch dieser Verlust ist aber bei der gesteigerten Arbeitsleistung des Körpers wesentlich erhöht. Der erwähnte Arbeiter verlor in der Gesamtatmung (Haut- und Lungenatmung) während des Ruhetages 828 g Wasser, am Arbeitstage dagegen über 2000 g.

Um wenigstens eine Andeutung über die ethnischen Verschiedenheiten in der Atmung zu geben, folgen hier zwei kleine Tabellen aus den von Gould und Baxter gemachten Mitteilungen aus der amerikanischen Militärstatistik:

(Nach Gould und Baxter)	Anzahl der Individuen	Körpergröße im Mittel	Atemzüge im Mittel	Brustumfang[1]	Brustspiel[2]
Indianer	121	1,7255 m	15,831	0,8653 m	7,348 cm
Weiße amerikanische Soldaten . . .	315,620	1,7189 -	16,439	0,8488 -	7,130 -
Farbige (Neger und Mulatten) . . .	25,828	1,6899 -	17,747—19,013	0,8558 -	6,571 -

(Nach Gould)	Anzahl der Individuen	Körpergröße im Mittel	Mittlere Vitalkapazität[3] der Lunge
Indianer	504	1,733 m	3033 ccm
Weiße Soldaten	15,124	1,705 -	3009 -
Vollblutneger	1631	1,683 -	2709 -
Mulatten	671	1,682 -	2649 -

[1] Der Brustumfang wurde durch ein Meterband in der Region der Brustwarzen gemessen.

[2] Das Atemspiel oder Brustspiel ward bestimmt als Differenz des Brustumfanges bei möglichst tiefer Ein- und Ausatmung.

[3] Die Vitalkapazität wurde S. 253 definiert.

Da für je 24,4 cm (= 1 Zoll englisch) Zunahme der Körpergröße die Vitalkapazität der Lungen um etwa 130 ccm zunehmen sollte, so bleiben die Indianer relativ an Vitalkapazität hinter den Weißen zurück, die Weißen übertreffen also die Indianer, Neger und Mulatten an relativer Vitalkapazität im Verhältnis zu ihrer mittleren Körpergröße. Man glaubt, es stehe das in Zusammenhang mit relativ größerer Energie des Stoffumsatzes und damit relativ größerer Kraftentwickelung der Weißen; exakte Beweise fehlen aber noch.

Magenatmung und Hautatmung. Schweißbildung.

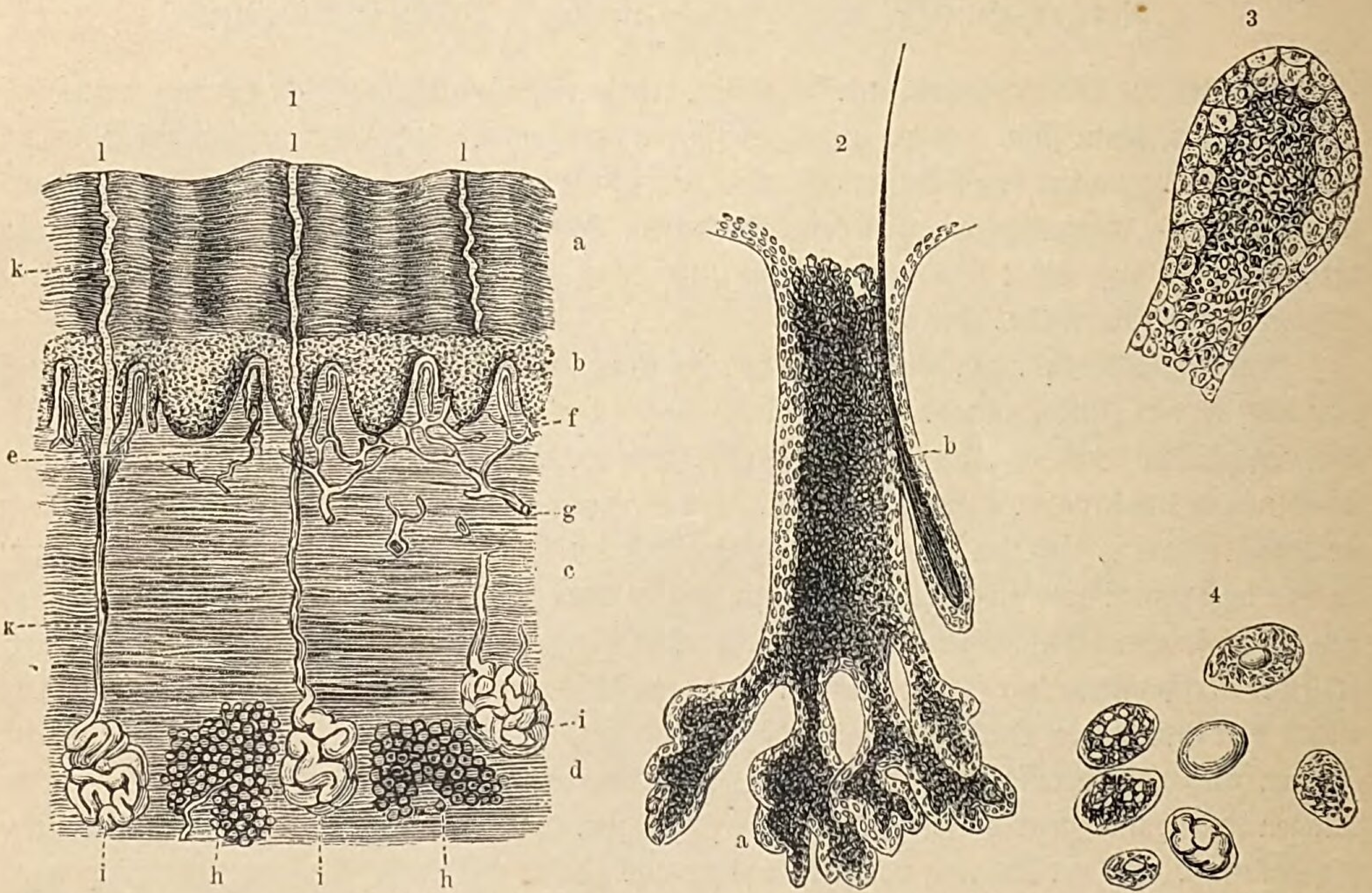
Überall, wo Blutkapillaren nur durch eine sehr zarte, feuchte Hautschicht von der atmosphärischen Luft getrennt sind, tritt ein auf Gasdiffusion beruhender Wechselverkehr zwischen Blut und Luft ein. Etwa vorhandener Sauerstoff wird vom Blute aufgenommen und, wie in der Lungenatmung, dafür Kohlensäure abgegeben. In diesem Sinne kann man, wie wir sahen, auch bei dem Menschen von einer Magenatmung und einer Hautatmung, einer Atmung an der äußeren Körperoberfläche, sprechen.

Mit dem Speichel, den Getränken, den Nahrungsmitteln schlucken wir eine gewisse Menge von Luft in den Magen hinab. An der blutreichen Schleimhaut des Magens wird der Sauerstoff der verschluckten Luft von dem Blutfarbstoffe, dem Hämoglobin der roten Blutkörperchen, gebunden und Kohlensäure dafür abgegeben. Die Gasmengen, welche bei dieser Magenatmung gewechselt werden, sind bei dem Menschen im Verhältnis zur Lungenatmung sicher sehr geringfügig; doch fehlen uns noch genaue Bestimmungen über ihre Größe. Im Darmkanal sind an sich die Aufnahmebedingungen für Sauerstoff nicht weniger günstig als im Magen, der Sauerstoff der verschluckten Luft scheint aber im Magen vollkommen aufgesaugt zu werden, so daß wohl nichts von ihm in den Darm gelangt. Dagegen finden sich im Darmkanal, noch reicher als im Magen fließende, accessorische Quellen für Kohlensäureentwickelung. Im Darmkanal und im Magen treten, und zwar vorwiegend in Zuckerlösungen, Gärungen auf, Milchsäure- und Buttersäuregärung. Bei der Bildung von Buttersäure aus Zucker werden Kohlensäure und Wasserstoff entwickelt, welche sich zunächst gasförmig im Darmkanal anhäufen und von da zum Teil auch in die Atemluft gelangen. Auch die geringen Mengen von Ammoniak und Kohlenwasserstoffgas (Leuchtgas), welche als normale oder wenigstens sehr häufige Bestandteile der Atemluft auffallen, stammen wohl teilweise aus Gärungen und Zersetzungen im Verdauungskanal; Ammoniak in der Atemluft kann beim Menschen unter Umständen schon aus der nicht vollkommen reinlich gehaltenen Mundhöhle herrühren. Brücke konstatierte übrigens Spuren von Ammoniak auch im normalen Blute. Die Menge, in welcher Ammoniak in der Atmung abgegeben wird, beträgt aber bei dem Menschen während einer 24stündigen Beobachtungsperiode nur zwischen 1/100 und 1/10 g. Auch Leuchtgas und Wasserstoffgas treten in der Atemluft in wenig erheblicherer Menge auf.

Trotzdem die Quantitäten des aufgenommenen Sauerstoffes und der abgegebenen Kohlensäure auch an der äußeren Hautoberfläche des Menschen nur recht gering sind im Verhältnis zu den großen Gasmengen, welche in der Lungenatmung bewegt werden, ist doch die Hautatmung für das Leben des Menschen von hoher Bedeutung.

Bei den niedrigsten tierischen Lebeformen ist die nackte Körperoberfläche das ausschließliche Organ der Stoffaufnahme und Stoffabgabe. Bei den durch Lungen atmenden Wesen tritt die innere Lungenoberfläche zum Teil an die Stelle der Körperoberfläche, indem sie wenigstens den größten Teil des Gasverkehres zwischen Atmosphäre und Organismus übernimmt. Dagegen bleibt die Abgabe in Flüssigkeit gelöster Stoffe, welche im Körper ausgedient haben und zersetzt

worden sind, obwohl dafür bei höhern Tieren ebenfalls spezielle innere Organe, die Nieren, thätig werden, doch zum mehr oder weniger beträchtlichen Anteil wenigstens zeitweilig der Körperoberfläche überlassen. Auch bei dem Menschen hat die Körperoberfläche ihre primäre Funktion, als Atmungsorgan und als Ausscheidungsorgan für Flüssigkeiten zu dienen, nicht vollkommen verloren. Die Haut übernimmt bei dem Menschen nicht nur einen Teil des äußern Gasverkehres, sondern sie wirkt, und zwar zeitweise dem wechselnden Bedürfnis des Körpers entsprechend, in sehr beträchtlichem Maße auch als Ausscheidungsorgan für Flüssigkeiten und in Flüssigkeiten gelöste feste Stoffe. Während die Haut bei der ersterwähnten Thätigkeit zum Teil die Funktionen



1) Die Haut des Menschen im senkrechten Durchschnitte, vergrößert. a und b) Oberhaut, a) oberflächliche, b) tiefere Schichten, das Malpighische Schleimnetz; c) Lederhaut, nach unten bei d) in das Unterhautfettgewebe ausgehend; e und f) Papillen der Lederhaut (e Tastkörperchenpapille, f Gefäßpapille); g) Gefäße der Lederhaut; h) Ansammlung von Fettzellen; i, k) Schweißdrüsen; i) deren Knäuel, k) deren Ausführungsgang; l) Schweißporen. 2) Eine Talgdrüse der Haut. Vergrößert. a) Die Drüsenbläschen; b) ein Wollhaar. 3) Drüsenbläschen einer Talgdrüse. Stark vergrößert. 4) Talgzellen aus einem Talgdrüsenbläschen. Stark vergrößert.

der Lungen übernimmt, tritt sie bei der zweiten stellvertretend für das Haupt-Flüssigkeitsausscheidungsorgan des animalen Organismus, für die Nieren, ein.

Bei Wirbeltieren mit zarter, feuchter Haut, welche, wie die Frösche, im Wasser leben, ist die Atemthätigkeit der Haut im Vergleich mit der Lungenatmung eine beträchtlichere; relativ außerordentlich viel geringer ist sie dagegen bei Lufttieren mit trockner Haut, wie bei dem Menschen. Noch fragt es sich, ob überhaupt durch die trockne Oberhaut hindurch ein Gasverkehr mit der Atmosphäre stattfinden kann; immerhin wird ein solcher vielfach, namentlich für die Wasserverdunstung, an der Hautoberfläche angenommen. Bis in die Neuzeit herein hatte man sogar fälschlich behauptet, daß auch der flüssige Schweiß durch die Oberhaut selbst aus dem Blute absickere. Jedenfalls fällt ein besonders wichtiger Anteil der Hautatmung stets auf die in der Haut zahlreich vorhandenen, in der Oberhaut mit Porenmündungen sich öffnenden Kanäle der Schweißdrüsen und deren immer feucht erhaltene zarte, reichlich mit Kapillaren umsponnene Wandungen. Ein Teil der an der Haut abgegebenen Kohlensäure stammt direkt aus der Zersetzung der

flüssigen und halbflüssigen Hautausscheidungen, hat also mit einem Atmungsvorgange nichts zu thun. Die Masse des bei der Hautatmung oder Perspiration dunstförmig abgegebenen Wassers ist sicher nichts anderes als verdunsteter Schweiß.

Über den anatomischen Bau der Haut selbst werden wir an späteren Stellen unserer Untersuchung nähere Aufschlüsse erhalten. Hier genügt es, darauf hinzuweisen, daß die allgemeine Hülle des menschlichen Körpers sich aus zwei in ihrer Dicke sehr verschiedenen Lagen zusammensetzt. Die Außenfläche bildet die dünne gefäß- und nervenlose Oberhaut, unter welcher die viel dickere feste, blut- und nervenreiche Lederhaut liegt. Die Lederhaut zerfällt selbst wieder in zwei verschiedenartige Schichten, in die eigentliche Lederhaut und das Unterhautfettgewebe, welches aus lockeren Maschenräumen von Bindegewebe besteht, in welche Fettzellen eingelagert sind. In der Haut finden sich zweierlei Drüsen, die Schweißdrüsen und die Talgdrüsen (s. Abbildungen, S. 262).

Der einfachste Bau einer Drüse charakterisiert diese als einen mehr oder weniger langen und weiten, oft nur mikroskopisch erkennbaren Schlauch, welcher mit einer freien Mündung auf einer inneren oder äußeren Hautoberfläche sich öffnet. Ein solcher Drüsenschlauch besteht aus einer verschieden stark entwickelten hautartigen Hülle, welche äußerlich mit Blutkapillaren mehr oder weniger reichlich umsponnen, im Innern mit Zellen, Drüsenzellen, Drüsenepithelien, austapeziert ist, deren spezifische Thätigkeit infolge der Erregung gewisser Nerven, der Drüsennerven, meist in der Absonderung einer Flüssigkeit, Drüsensekret, besteht. Eine weitere Entwickelung der Drüsenform stellt eine kugelige oder birnförmige Ausbuchtung des Endstückes vom Drüsenschlauche dar. Bei anderen Drüsen sehen wir den Drüsenschlauch sich verästeln und gewöhnlich jeden der Äste Endausbuchtungen tragen (s. Abbildung, S. 249, links). Ist die Verästelung eine reiche, und schwellen die blinden Enden der Ästchen zu kugeligen oder birnförmig-ovalen Endbläschen an, so haben wir die vollendete Gestalt der traubenförmigen Drüse, wie wir sie in der Lunge gegeben fanden. Die Drüsenzellen, namentlich jene in den Endausbuchtungen der Drüsenschläuche und deren Ästen gelegenen, zeigen meist gewisse chemische Einwirkungen auf das ihnen in den Kapillaren zuströmende Blut und bilden aus diesem und ihrem eigenen Protoplasma charakteristisch zusammengesetzte Ausscheidungsflüssigkeiten, Drüsensekrete, welche, wie jene der Verdauungsdrüsen, bestimmte chemische Wirkungen zu entfalten vermögen. Für das Verständnis der Thätigkeit der Schweißdrüsen, soweit sie sich auf den Gasverkehr des Organismus mit der Atmosphäre bezieht, bedürfen wir jedoch der Heranziehung chemischer Drüsenwirkungen zunächst nicht.

Die Schweißdrüsen finden sich in reichlicherer oder spärlicherer Anzahl in der ganzen Hautdecke des Körpers. Man unterscheidet an ihnen den eigentlichen Drüsenkanal, welcher die Haut durchbohrt und als Schweißpore an der Oberfläche mündet, und das knäuelförmig aufgewundene Ende des Schlauches, das als kugeliges Körperchen entweder noch in der unteren Schicht der eigentlichen Lederhaut oder an der Grenze zwischen dieser und dem Unterhautfettgewebe liegt. Am entwickeltsten sind die Schweißdrüsen in der Achselgrube, wo ihre Drüsenknäuel eine zusammenhängende Schicht unter der Lederhaut bilden. Der Drüsenkanal besteht aus einer eigenen zarten Hautschicht, an welcher man bei den größeren Schweißdrüsen Muskelfäserchen, aus glatten Muskelzellen bestehend, nachgewiesen hat. Dieser Schlauch ist von rundlich-eckigen Drüsenzellen in ein- oder mehrfacher Schicht ausgekleidet. Der Drüsenkanal ist, solange er die Lederhaut durchsetzt, wenig geschlängelt, in der Oberhaut verliert er seine eigene häutige Wandung und erscheint als ein korkzieherartig gewundener Lückenraum zwischen den Oberhautzellen. Seine Mündung auf der Oberfläche der Oberhaut, die Schweißpore, besitzt meist eine trichterförmige Öffnung. Abgesehen von jener in der vollkommen blutleeren Oberhaut befindlichen Strecke, umspinnt

die ganze Schweißdrüse ein reichliches Netz von Blutkapillaren. In dem Inhalte der Schweißdrüsenzellen erkennt man gewöhnlich kleine Fettkörnchen, was auf eine geringe Fettabsonderung mit dem Schweiße hindeutet. Den Schweißdrüsen ganz entsprechend im Baue sind die in der Haut des äußeren Gehörganges befindlichen Ohrenschmalzdrüsen. Sie sind etwas größer und enthalten namentlich in den Drüsenzellen des Endknäuels viel Fett und gelbliche Farbstoffkörnchen. Bekanntlich ist die Fettabsonderung die Hauptaufgabe der Ohrenschmalzdrüsen, während sie bei den Schweißdrüsen sehr zurücktritt. Das Fett, welches für die gesunde Oberhaut notwendig ist, um sie geschmeidig und undurchdringlich für Flüssigkeit und Gase zu erhalten, wird von eigenen kleinen, schlauch- oder birnförmigen, manchmal auch traubenförmigen Drüschen, den Talgdrüsen der Haut, der Hauptmasse nach abgesondert. Sie finden sich am häufigsten an den stärker behaarten Teilen der Haut. Ihre Drüsenzellen sondern eine nicht unbedeutende Fettmenge ab, welche als Hautsalbe bezeichnet wird. Ihr Ausführungsgang mündet meist an der Wurzel der Haare, und ihr Sekret dient als physiologisches Haaröl.

Solange die Haut nicht in höherem Grade blutreich ist, funktionieren die Schweißdrüsen lediglich als Organe der „insensibeln Perspiration", der unmerklichen Hautatmung. Bis zu einer gewissen Tiefe vermag dann die Luft in die Drüsenschläuche einzudringen, so daß an ihrer inneren Oberfläche, unter welcher direkt das Blut ihrer Kapillaren strömt, ein Gasverkehr zwischen Luft und Blut stattfinden kann. Bei gesteigerter Feuchtigkeit und Wärme der umgebenden Luft füllen sich, namentlich bei gleichzeitig erhöhter Muskelthätigkeit oder bei gewissen psychischen Erregungen, die Hauptblutgefäße stärker mit Blut; infolge davon tritt eine reichlichere Flüssigkeitsabsonderung in den Schweißdrüsen ein, die sich als flüssiger Schweiß an der Hautoberfläche bemerklich macht. Mittels einer Lupe sehen wir dann an den Schweißporen zunächst kleinste wässerige Tröpfchen auftreten; diese vergrößern sich, fließen zusammen und bilden endlich den tropfenförmig abrinnenden Schweiß, eine farblose, durchsichtige, meist sauer reagierende Flüssigkeit von salzigem Geschmacke. Seine festen Bestandteile schwanken zwischen 0,4 und 2,2 Prozent der Flüssigkeit, alles andere ist Wasser; die festen Bestandteile bestehen der Hauptmasse nach aus Kochsalz. Außerdem finden sich noch Fette und flüchtige Fettsäuren: Ameisensäure, Essigsäure, Buttersäure, Propionsäure &c. Diese Bestandteile bedingen teils die gewöhnlich saure Reaktion des Schweißes, teils seinen spezifischen Geruch. An dem letzteren beteiligen sich aber auch flüchtige Riechsubstanzen der Nahrung, z. B. des Knoblauches, welche in den Schweiß übergehen. Einige Autoren geben auch Harnstoff als normalen Schweißbestandteil an. Unter den Aschenbestandteilen des Schweißes finden sich neben dem Kochsalz in geringerer Menge noch Chlorcalcium, phosphorsaures Kali, phosphorsaurer Kalk, Magnesia und Eisenoxyd; es sind also die Blutsalze, welche im Schweiße den Körper verlassen.

Die Schweißbildung und die Stärke der „insensibeln" Wasserabdunstung an der Haut ist an verschiedenen Körperstellen sehr verschieden. Im allgemeinen sehen wir sie steigen und fallen mit der Zahl der auf einer begrenzten Hautfläche befindlichen Schweißdrüsen. Die gesamte Körperoberfläche des Menschen beträgt etwa 1,5—1,6 □Meter. Krause hat die Anzahl der Schweißdrüsen an verschiedenen Körperstellen auf je 1 □Zoll (2,62 □Zentimeter) gezählt. Auf 1 □Zoll Haut der Rückenfläche des Körpers stehen nach seinen Zählungen 440—600 Schweißdrüsen, etwa ebensoviel an der Wange und der Haut der Oberarme und Beine. Viel zahlreicher sind sie an der Haut der Vorderfläche des Körpers, ebenso an Hals, Stirn, Vorderarm, Hand- und Fußrücken; auf 1 □Zoll stehen hier zwischen 940 und 1090; auf der gleich großen Hautfläche der Fußsohle beträgt ihre Anzahl 2685, auf der inneren Handfläche 2736. Danach berechnet sich die Gesamtzahl aller Schweißdrüsen des Menschen auf etwa 2½ Millionen. Diese großen Zahlen erklären es, wie beim Zusammentreffen aller Bedingungen die Schweißabsonderung eine

sehr beträchtliche Höhe erreichen kann. Favre bestimmte die in $1^1/_2$ Stunde im Schwitzbade an der Haut abgegebene Flüssigkeitsmenge zu 1500—2500 g. In einem Dampfbade fand der Verfasser den Gewichtsverlust während 15 Minuten zu 1280 g.

Die physiologische Thätigkeit der Haut erscheint uns nach dem Gesagten als ein sehr bedeutender Faktor unserer Gesundheit; die Unterdrückung der Hautthätigkeit wirkt tödlich. Manche Krankheiten, bei welchen die Hautthätigkeit abnorm daniederliegt, namentlich aber ausgedehnte Verbrühungen und Verbrennungen, welche die normalen Lebensfunktionen der verletzten Hautstelle aufheben, erhalten ihre tödliche Gefährlichkeit zum Teil aus dieser Ursache.

Man hat die Menge der während einer bestimmten kurzen Zeit an der Haut abgegebenen und aufgenommenen Luftbestandteile bestimmt, indem man zu diesem Zwecke ein Glied des Körpers oder den ganzen Körper, mit Ausschluß des Mundes, in eine luftdicht schließende Glasröhre oder einen Guttaperchasack einhüllte, deren Luftinhalt man in geeigneter Weise ventilierte. Aus diesen Versuchen hat sich ergeben, daß, wie erwähnt, an der Haut sowie in den Lungen Sauerstoff aufgenommen und Kohlensäure und Wasserdampf dafür abgegeben wird. Doch ist die Gesamtmenge der bei der Hautatmung des Menschen abgegebenen Kohlensäure stets nur eine sehr geringe. Sie schwankt in 24 Stunden nur zwischen 3 und 9 g, die Abgabe ist also 100—300mal geringer als während derselben Zeit in der Lunge. Entsprechend verhält sich die Sauerstoffaufnahme. Die Ursache davon ist die, daß sehr gewöhnlich die Kanälchen der Schweißdrüsen nahezu oder ganz bis zu ihren blutfreien Mündungen mit jener wässerigen Flüssigkeit, Schweiß, erfüllt sind, die bei gesteigerter Drüsenthätigkeit auf die Hautoberfläche austritt. Darin liegt auch der Grund, weshalb bei der „insensibeln Perspiration" die Wasserabgabe an der Hautoberfläche, beruhend auf der unausgesetzten Verdunstung der Schweißdrüsenflüssigkeit, soviel höhere Werte erreicht als die Kohlensäureabgabe. In 24 Stunden gibt die Haut in der insensibeln Wasserabgabe, also ohne eigentliche Schweißbildung, bis zu 500, ja 800 g Wasser ab, eine Größe, welche die Wasserabgabe in der Lungenatmung gewöhnlich nicht erreicht. Letztere beträgt für einen Tag im Mittel etwa 300 g, kann sich aber unter Umständen verdoppeln, ja verdreifachen. Ähnlich ist es an der Haut, bei stärkerer Muskelthätigkeit steigt auch ohne sichtbare Schweißabsonderung die insensible Wasserabgabe sehr beträchtlich.

Man hört, wie gesagt, noch immer die falsche Behauptung, daß die größte Menge des Wassers, welche wir in Dampfform durch die Hautperspiration verlieren, die Oberhaut direkt durchdringt, während wir annehmen, daß die Wasserabgabe, ob dampfförmig oder flüssig, durch die Schweißdrüsen erfolgt. Für den Schweiß kann dieses Verhältnis jetzt niemand mehr ableugnen; für die gasförmige Wasserabgabe beruft man sich dagegen fortgesetzt auf die Zählungen und Messungen Krauses, welcher für die Oberfläche einer Schweißdrüsenmündung nur 0,06283 qmm gefunden hat; die gesamte Ausmündungsfläche aller Schweißdrüsen unserer Haut beträgt daher 0,143 qm, also etwa ein Zehntel der Gesamtoberfläche unseres Körpers. Nach der Berechnung Valentins verdampft von 1 qm Wasseroberfläche bei 35° C. (Hauttemperatur) höchstens 0,46 g Wasser in der Minute, während Séguin für die gesamte Hautausdünstung in einer Minute im Mittel 0,637 g bestimmte. Nach unseren obigen Angaben wird an der gesamten Haut in einer Minute im Maximum etwas mehr als 0,5 g Wasser ausgeschieden. Bei einer so großen dunstförmigen Wasserabgabe verhält sich dann die gesamte Haut annähernd wie eine feuchte Fläche, und sie ist dies auch wirklich; dann sind es nicht mehr die Schweißdrüsenmündungen allein, an denen die Verdunstung erfolgt. Die Haut, welche stark perspiriert, fühlt sich nicht spröde und trocken, sondern „duftig" an; das aus den Schweißporen ausgeschiedene Wasser überzieht die Nachbarschichten der Oberhaut mit einer feinsten Flüssigkeitsschicht, welche nicht tropfbarflüssig erscheint, da die Oberhautzellenschüppchen wie Haare deutlich hygroskopisch wirken. Auch bei

geringerer Perspirationsleistung der Haut ist die Oberhaut, wenigstens in nächster Nähe der Schweißdrüsenporen, äußerlich mit wässeriger Flüssigkeit hygroskopisch überzogen.

*

Die Hautthätigkeit ist je nach der höheren oder niedrigeren Außentemperatur, je nach den Schwankungen des Luftdruckes, nach den Verschiedenheiten im Sättigungsgrade der Atmosphäre mit Wasserdampf sehr bedeutendem Wechsel unterworfen. Alles, was die Blutbewegung beschleunigt oder vermindert, was die allgemeine Körpertemperatur erhöht oder sinken läßt, wirkt steigernd oder vermindernd auf die Hautthätigkeit. Bei den dunkelfarbigen Rassen erscheint die Haut in noch höherem Grade als Ausscheidungsorgan wie bei den Weißen, namentlich den Blondweißen. Nicht nur die Wasserverdunstung ist bei den Farbigen, wie es scheint, stärker, sondern wohl auch die Fettabgabe an der Hautoberfläche; beide Steigerungen hängen mit einer gesteigerten Blutfülle in der Haut zusammen. Auch die riechenden Stoffe, welche in der Hautabsonderung ausgeschieden werden, nehmen primär mit der Steigerung der Hautthätigkeit zu. Davon rührt wohl zum Teil, soweit nicht riechende Nahrungsstoffe und Unreinlichkeit dabei beteiligt sind, der spezifische Geruch mancher dunkelfarbiger (Neger-) Völker her. Auch bei dem Europäer ist der Geruch der Hautabsonderung an einigen Stellen der Körperoberfläche, und zwar da, wo die Absonderung stets besonders stark ist (Achselhöhle, Fußsohle 2c.), stärker und erscheint seinerseits anderen Völkern, z. B. den Chinesen, unangenehm. Die Fettabsonderung an der Haut ist, wie wir das oben von der Flüssigkeitsabsonderung hörten, an verschiedenen Hautstellen verschieden stark; aber für die beiden Hautabsonderungen sind die Stellen der maximalen Abgabe verschieden, für die Fettabgabe ist es der äußere Gehörgang (Ohrenschmalz), dann in geringerem Grade die Augenlider und die Haut der Falte zwischen Nasenspitze und Wange.

Die Nieren und ihre Thätigkeit.

Die Veränderung des Blutes im Verkehre mit den Organen besteht nicht nur in einer Entziehung von Sauerstoff und Aufnahme von Kohlensäure. Dem Blute strömen aus den lebensthätigen Organen auch an sich feste, aber in den wässerigen Organflüssigkeiten gelöste Zersetzungsprodukte zu, und wie die Lungen der Ausscheidung des gasförmigen Wassers und der Kohlensäure, so dienen die Nieren der Entfernung des überschüssigen tropfbarflüssigen Wassers und der festen, in Wasser löslichen Auswurfstoffe des Organismus. Dieselben Hilfsorgane, welche die Lungenatmung unterstützen, Haut und teilweise auch das Verdauungsrohr, treten für die Nieren in Thätigkeit, und in der Schweißabgabe haben wir schon die Ausscheidung einer wässerigen Flüssigkeit (Schweiß) kennen gelernt, welche in manchen Beziehungen der Nierenausscheidung entspricht.

Das Protoplasma unseres Körpers besteht, abgesehen von seiner Asche, aus den uns bekannten sieben Elementarstoffen: Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Eisen und Sauerstoff. Bei der in den lebenden Geweben des Körpers vor sich gehenden Verbindung der sechs erstgenannten Elementarstoffe mit Sauerstoff entstehen aus dem Kohlenstoff und Wasserstoff der Hauptmasse nach Kohlensäure und Wasser. Die Kohlensäure wird, wie wir sahen, vorzüglich als freies Gas in der Atmung abgegeben, und auch das durch organische Verbrennung im Körper entstandene Wasser entweicht in Gemeinschaft mit dem überschüssig in dem Getränke und der relativ festen Nahrung aufgenommenen Wasser zum großen Teil in Dampfform in der

Lungen- oder Hautatmung aus dem Organismus. Steigert sich die gewöhnlich insensible, unmerkliche Wasserverdunstung an der Haut bis zur Schweißbildung, so strömt hierbei Wasser in flüssiger Form aus dem Körper ab und zwar beladen mit in Wasser löslichen Zersetzungsprodukten und sonstigen Abfallstoffen des Organlebens. Dieser Thätigkeit, welche die Haut nur unter bestimmten Verhältnissen übernimmt, entspricht die spezielle stetig erfüllte Aufgabe der Nieren.

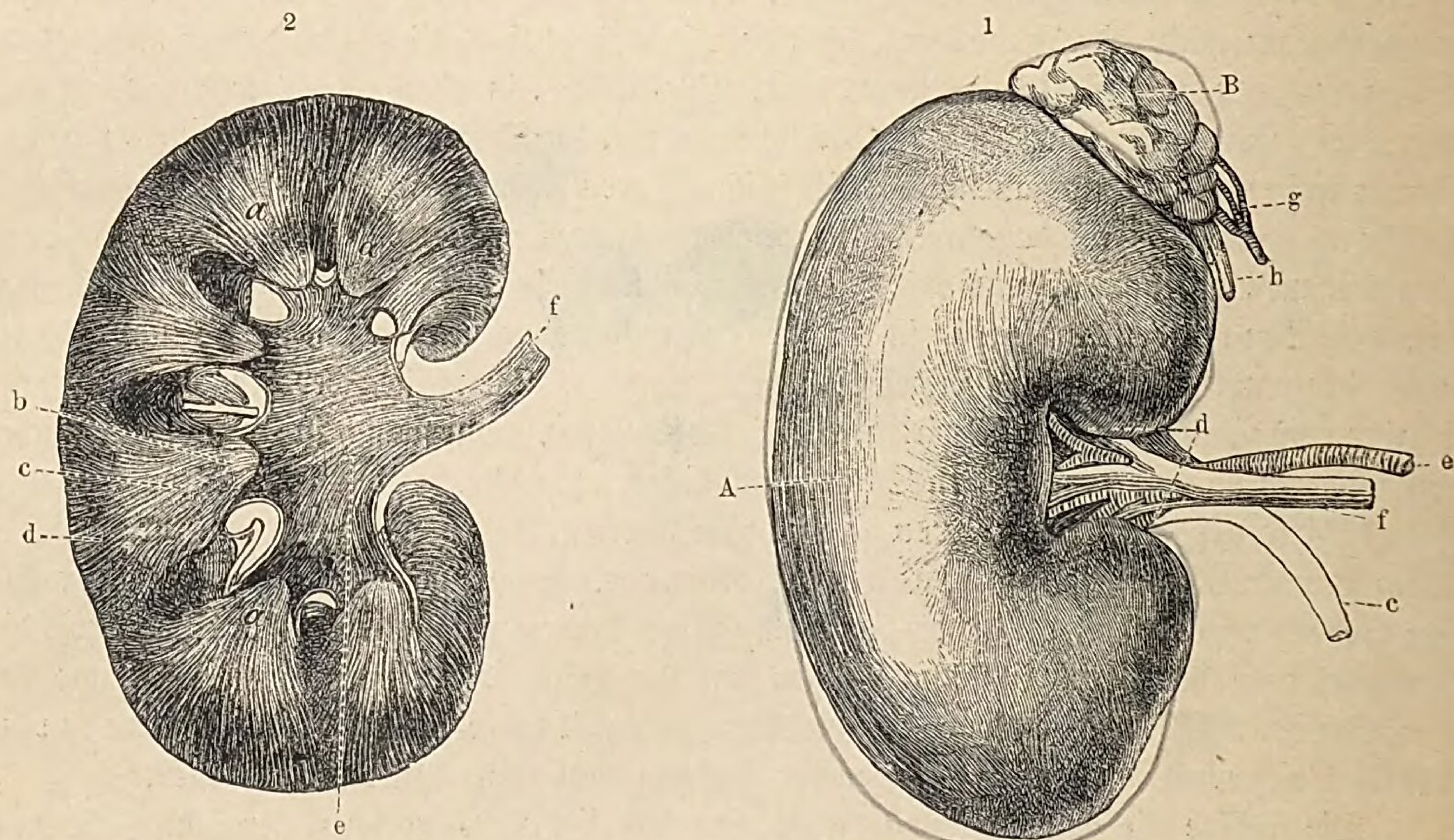
Die Verbindungsprodukte der Elementarstoffe unserer Organe mit Sauerstoff, welche zum Teil als Gifte aus dem Organismus ausgeschieden werden müssen, sind keineswegs alle gasförmig. Die einfachen chemischen Verbindungen, in welchen Stickstoff, Schwefel, Phosphor und Eisen den Körper zu verlassen haben, sind feste, aber in Wasser lösliche Stoffe. In ihnen tritt auch ein Teil des Kohlenstoffes und des Wasserstoffes aus dem Organismus aus. Besonders interessant sind die chemischen Verbindungen, in welchen der Stickstoff der Protoplasmasubstanzen ausgeschieden wird. In Verbindung mit einem Teil ihres Kohlenstoffes und Wasserstoffes entstehen aus den stickstoffhaltigen Bestandteilen kristallinische, in Wasser leicht lösliche Produkte: Harnstoff, Harnsäure, Hippursäure, Kreatinin ꝛc. Durch die Verbindung des Schwefels mit dem Sauerstoff entsteht im Organismus Schwefelsäure, der Phosphor verbrennt zu Phosphorsäure, welche in chemische Verbindung mit den Aschenmetallen der Organe: Kalium, Natrium, Calcium und Magnesium, zum Teil auch mit Eisen, treten. Alle diese Stoffe sind leicht löslich in Wasser und verlassen mit den überschüssig in der Nahrung aufgenommenen Salzen, namentlich Kochsalz, den Körper normal in der wässerigen Nierenausscheidung. Die meisten der genannten stickstoffhaltigen Ausscheidungsprodukte wirken, wie die Kohlensäure, wenn sie sich in irgend beträchtlicheren Mengen im Blute oder in den Organen anhäufen, als Gifte. Wie die Lungen und die Haut, sind also auch die Nieren, welche diese in den Organen erzeugten Gifte zur Ausscheidung bringen, „Entgiftungsorgane" des Körpers. Wenn auch langsamer und unter anderen Erscheinungen, so vernichtet die Ausschaltung der Nierenthätigkeit ebenso das Leben wie die Unterdrückung der Atmung in den Lungen und der Haut. Bei Nierenerkrankungen und bei Krankheiten, welche, wie die Cholera, die Nierenthätigkeit unterdrücken, haben die Ärzte nur zu häufig Gelegenheit, die tödlichen Folgen der Zurückhaltung dieser Gifte zu beobachten.

Die flüssige Nierenausscheidung besteht, wie jene der Schweißdrüsen, der Hauptsache nach aus Wasser, welches verschiedene organische und unorganische Substanzen gelöst enthält. Die Mengenverhältnisse, in welchen die Stoffe in der Nierenausscheidung enthalten sind, zeigen beträchtliche Schwankungen, namentlich nach der verschiedenen Nahrungsaufnahme wechselnd. Von dem austretenden Wasser verlassen auf diesem Wege den Organismus unter normalen Verhältnissen in 24 Stunden etwa 500—2000 g. Die Hauptmenge der im Nierensekrete gelösten organisch-chemischen, d. h. noch verbrennlichen, Stoffe bildet der Harnstoff, von dem bei normaler Ernährung im Tage zwischen 25 und 40 g abgegeben werden. Viel kleiner (meist etwas unter 1 g in 24 Stunden) und wechselnd sind die Mengen von Kreatin, Kreatinin, Harnsäure, Hippursäure ꝛc. Dazu kommen noch kleine Mengen eisenhaltiger Farbstoffe, welche aus Zersetzung des Blutfarbstoffes hervorgehen, und eine Anzahl zum Teil noch unbestimmter sogenannter Extraktivstoffe. Daran reihen sich dann noch die unorganischen Salze des Blutes, besonders Kochsalz (wie im Schweiße) und die Blutgase: geringe Mengen von Sauerstoff und etwas reichlicher Kohlensäure. Frisch reagiert die Flüssigkeit meist schwach sauer.

Im Durchschnitt betragen die festen Stoffe etwa 3,5 Prozent der Flüssigkeitsmenge. Die prozentige Menge der festen Stoffe kann aber noch viel geringer werden, wenn wenig gegessen und viel getrunken wird. Bei einem armen, kinderreichen Landschullehrer, welcher ein großer Wassertrinker war, fanden wir die prozentige Menge der festen Stoffe nur zu 0,6 Prozent. Das spezifische Gewicht der Flüssigkeit schwankt mit der Menge der gelösten Stoffe auf und ab. Setzt

man das spezifische Gewicht des Wassers = 1000, so beträgt das spezifische Gewicht der Nierenausscheidung etwa 1020. Bei achtundvierzigstündiger vollkommener Nahrungsenthaltung fanden wir das spezifische Gewicht = 1007,5, bei reichlichster Nahrungszufuhr = 1026,5, bei jenem oben erwähnten Landschullehrer nur = 1003. Die Gesamtmenge an festen Stoffen, welche auf diesem Wege den Organismus des Erwachsenen im Laufe eines Tages verläßt, beträgt, nach der Nahrung schwankend, im Mittel etwa 50 g. Als Minimum beobachteten wir 25 g, als Maximum 132,7 g.

Wir erhalten aus der Betrachtung des Vorganges der Blutreinigung durch die Nieren einige wichtige Fingerzeige über die Art und Weise, wie derartige Prozesse im allgemeinen verlaufen. Die Substanzen, welche durch die Nieren ausgeschieden werden, sind teilweise im Organismus vollkommen verbraucht und zu dessen Lebensaufgaben unnütz geworden; zum Teil finden sich



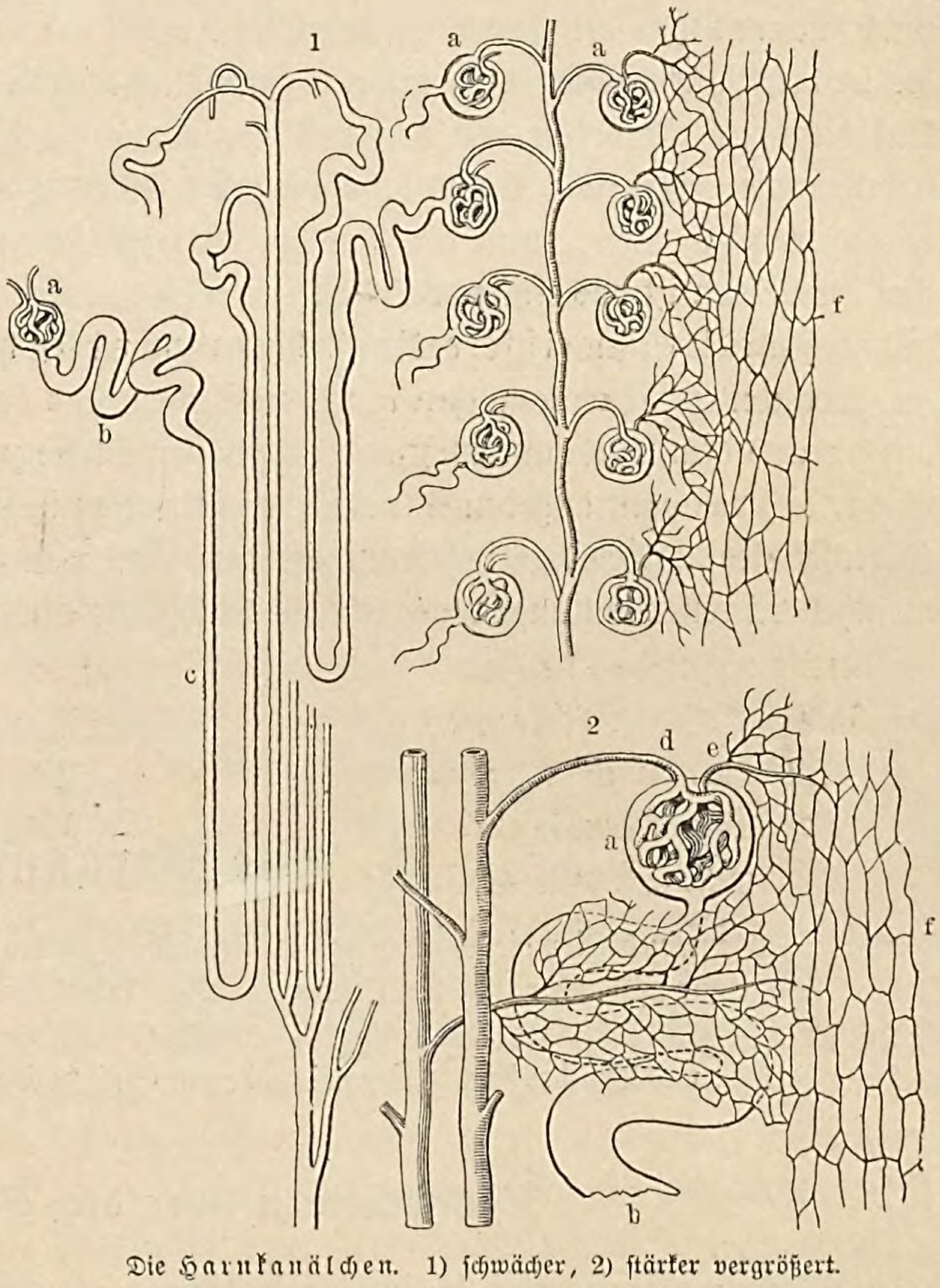
1) Rechte Niere A und Nebenniere B; c) Harnleiter, d) Hilus, e) Nierenarterie, f) Nierenvene, g) Arterie, h) Vene der Nebenniere. 2) Schnitt aus der Mitte der Niere eines Kindes. a) Nierenwärzchen, b) Spitze, c) Mittelstück derselben, d) Rindenschicht der Nierensubstanz, e) Nierenbecken, f) Harnleiter.

aber auch Substanzen in der ausgeschiedenen Flüssigkeit, welche in der Nahrung in überflüssiger Menge dem Organismus zugeführt wurden, und deren Ausscheidung lediglich durch die in den Nieren gegebenen mechanischen Verhältnisse bedingt wird. Außer dem Wasser sind das ein Teil der Blutsalze und vor allem die oben genannten geringen Mengen von Sauerstoff. Ein dritter Anteil stammt aus dem Stoffumsatze der Nieren selbst.

Die alte Physiologie hat die Nieren als eine Art Sieb oder Filter bezeichnet, durch welches aus dem Blute alle in Wasser einfach gelösten Stoffe austreten können. Die wässerige Nierenausscheidung erscheint in der That im wesentlichen als Blut, welchem die Eiweißstoffe und Blutkörperchen des Blutes, die von dem Nierenfilter nicht hindurchgelassen werden, fehlen.

Die beiden Nieren liegen jederseits neben der Wirbelsäule in der Lendengegend der Bauchhöhle. Sie haben eine flache, etwa bohnenförmige Gestalt, die Konkavseite nach innen gewendet, aus deren Mitte (hilus, wo auch die Blutgefäße aus- und eintreten) mit einem trichterförmigen Anfangsstücke je eine lange, enge Röhre, der Harnleiter (ureter), abzweigt. Beide Röhren ververlaufen gestreckt nach abwärts und münden nebeneinander, aber einigen Zwischenraum zwischen sich lassend, in die hintere, untere Wand der Harnblase ein. Die Abbildung eines Längsschnittes

durch eine Niere (S. 268) zeigt uns, wie das obere erweiterte Ende des Harnleiters zu einem beträchtlichen Hohlraume, dem Nierenbecken, sich ausdehnt, in welchem eine Anzahl (8—15) kegelförmiger Hervorragungen, die Nierenwärzchen oder Nierenpapillen, sichtbar wird. Die Substanz dieser Nierenwärzchen zeigt sich längsgestreift, und an ihren Spitzen erkennen wir eine große Anzahl feiner Öffnungen. Die mikroskopische Untersuchung lehrt, daß jene Streifung von zahlreichen Röhrchen hervorgerufen ist, die sich an der Spitze der Nierenwärzchen frei in das Nierenbecken öffnen. Diese Röhrchen sind die erweiterten gemeinsamen Ausführungsgänge einer großen Anzahl ziemlich langer, namentlich in ihrem oberen Abschnitte gewundener Drüsenschläuche, Harnkanälchen, welche in der Niere zu einem gemeinschaftlich funktionierenden Ganzen verbunden sind. Man kann in einem gewissen Sinne den Bau der Harnkanälchen mit dem der Schweißdrüsen vergleichen; beide bestehen aus einer zarten, innen mit einer Zellenschicht ausgekleideten Hülle, im einzelnen zeigen sich aber mannigfache Unterschiede. Während der Drüsenschlauch der Schweißdrüsen bis zu seinem blinden, knäuelförmig aufgewundenen Ende von annähernd gleicher Weite bleibt, beginnen die Harnkanälchen (s. nebenstehende Abbildung) in der Außen- oder Rindenschicht der Niere mit einer hohlkugelförmigen Anschwellung (Kapsel des Gefäßknäuels), aus welcher ein engeres Röhrchen hervorgeht. Zuerst sehen wir diese Röhrchen in zahlreichen Windungen, endlich gestreckter verlaufen und schließlich je zwei derselben zu einer Röhre zusammentreten. Diese vereinigten Ausführungsgänge verbinden sich dann wieder mit entsprechenden Nachbarröhrchen zu weiteren gemeinsamen Ausführungsröhrchen, die als jene oben erwähnten Streifen der Nierenwärzchen sichtbar werden und endlich an der Spitze der letzteren frei in das Nierenbecken einmünden.



Die Harnkanälchen. 1) schwächer, 2) stärker vergrößert.
a) Kapseln des Gefäßknäuels, b) gewundene, c) gerade Strecken der Harnkanälchen, d) zuführendes, e) abführendes Gefäß des Gefäßknäuels, f) Kapillargefäße.

Das Verhalten der Blutgefäße zu den Harnkanälchen und namentlich zu den Endkapseln derselben ist sehr bemerkenswert. Mit jeder solchen Endkapsel stehen zwei feine, aber ungleich weite Schlagaderzweige, noch keine eigentlichen Haargefäße, in Verbindung. Die nähere Betrachtung zeigt, daß das engere die direkte Fortsetzung des weiteren Gefäßchens ist. Das weitere Gefäßchen führt das Blut der Kapsel zu. Es senkt sich in die Kapsel ein, wo es ein dichtes, die Kapsel erfüllendes rundliches Knäuel feinster Schlagaderzweige, das Gefäßknäuel (glomerulus), bildet, das schließlich jenes engere Gefäßchen aus sich hervorgehen läßt, durch welches das Blut aus der Kapsel abströmt. Erst jenseit der Kapsel löst sich dieses das Blut abführende Gefäßchen

in seine Haargefäße auf, die ein reiches Netz um die Kanälchen spinnen. Dieses eigentümliche anatomische Verhalten der Blutgefäße veranschaulicht uns die Filtereinrichtung aus dem Blute in die Harnkanälchen. Das Blut, welches in die Kapsel auf breitem Wege, durch das weitere zuführende Gefäß, einströmt, wird dort, da das abführende Gefäßchen enger ist, angestaut und unter einen gesteigerten Druck gesetzt. Infolge dieses Druckes werden alle leicht filtrierbaren, d. h. alle in Wasser wirklich gelösten Stoffe durch die zarten Gefäßwandungen in die Harnkanälchen ausgepreßt.

Wir haben oben die Nieren Filter genannt, aber wir fragen, wenn der Vorgang der Flüssigkeitsabsonderung in den Nieren (und der Haut) nichts weiter ist als eine Filtration, warum gehen nicht alle im Blute gelösten chemischen Stoffe durch dieses Filter hindurch, warum bleiben speziell die in der Blutflüssigkeit doch gelösten Eiweißstoffe dabei normal vollkommen im Blute zurück? Auf diese Frage erhalten wir von der Physiologie die Antwort, daß die Eiweißstoffe als solche überhaupt nur sehr schwer und langsam jedes Filter durchsetzen, und daß sie gar nicht durch ein solches hindurchtreten, wenn die Substanz des Filters mit einer sauren Flüssigkeit getränkt ist. Bei den Nieren ist das letztere der Fall; sie enthalten eine saure Ausscheidungsflüssigkeit (dasselbe gilt auch für die Schweißsekretion). Außerdem wirken hier aber auch noch die Zellen mit, welche die gewundenen Nierenkanälchen innen auskleiden, und denen wir auch eine spezifische Anziehung auf die aus dem Blute auszuscheidenden gelösten Stoffe zuzuschreiben haben. Wenn diese Zellenschicht, die, wie oben angedeutet, neben der Filtration in spezifischer Weise an der Herstellung des Nierensekretes mitbeteiligt ist, krankhaft verändert und zum Teil abgestoßen wird, wie es bei manchen Nierenerkrankungen geschieht, so tritt sofort Eiweiß in der Nierenausscheidung auf.

---

8. Die Verdauung.

Inhalt: Allgemeines über die Verdauung. — Verdauung in der Mundhöhle. — Magenverdauung und Wert der Zubereitung und Würzung der Speisen. — Der Dünndarm als Zentrum der chemischen Verdauungsthätigkeit. — Mechanik der Verdauung. — Milchsaft und Lymphe. — Die Bildung der Blutkörperchen. Lymphdrüsen und Blutdrüsen. — Vergleichende anatomische Betrachtungen.

Allgemeines über die Verdauung.

Überraschend einfach erscheint die Stoffmischung, aus welcher der Menschenleib mit allen seinen Organen aufgebaut ist. Außer Wasser und den unverbrennlichen Aschenbestandteilen, unter welchen die Verbindungen von Kalium, Natrium, Calcium mit Phosphorsäure, Schwefelsäure und Chlor vorwiegen, sind als Bestandteile der menschlichen Körperorgane oder, was das Gleiche ist, des animalen Protoplasmas vorzüglich noch Eiweißstoffe und ihre nächsten Abkömmlinge, dann Fette und zucker- oder stärkemehlartige Stoffe, die sogenannten Kohlehydrate, zu nennen.

Im Blute sind alle diese für den Aufbau des Organismus nötigen Stoffe in geeigneter Form und Mischung enthalten, um direkt in Organbestandteile umgewandelt werden zu können. Wir durften in diesem Sinne das Blut als das eigentliche Ernährungsmaterial des Gesamtkörpers und aller seiner Teile bezeichnen. Aus dem Blute schöpft jedes Organ, jedes kleinste Organteilchen die ihm zur Erhaltung und zum Wachstum erforderlichen Stoffmaterialien; in das Blut werden aus den Organen jene für das Organleben unbrauchbaren Stoffwechselprodukte abgegeben, welche in dem mit dem Lebensvorgang untrennbar verbundenen Prozesse der organischen Stoffzersetzung entstanden sind. Für die Erhaltung des Lebens unbrauchbar, ja für dessen Fort-

bestehen geradezu verderblich, machen diese Stoffwechselprodukte jene Reihe wunderbarer anatomisch-physiologischer Einrichtungen unseres Körpers notwendig, welche wir in den vorausgehenden Besprechungen als Organe der Blutreinigung in ihrer Thätigkeit belauscht haben. Die physiologische Arbeit der Lungen, der Nieren, der Haut erteilte dem Blute die Fähigkeit, eine längere Zeit hindurch ohne anderweitige stoffliche Neuzufuhr, abgesehen von Sauerstoff, der Organernährung und jenen zahlreichen übrigen Aufgaben vorzustehen, welche die Organthätigkeiten dem Blute stellen.

Indem aber die lebenden Organe aus dem Nahrungsreservoir des Blutes unausgesetzt Stoffe entnehmen, kann es schließlich nicht ausbleiben, daß auch der reiche Vorrat von Nahrungsstoffen im Blute des gesunden Körpers sich endlich erschöpft. Ohne periodische Neuzufuhr von Nahrungsstoffen zum Blute, d. h. ohne Ernährung, erliegt der kräftigste Organismus in relativ kurz gemessener Frist dem Hunger. Der Mensch kann, wie alle lebenden Organismen, auf die Dauer nicht bestehen ohne Nahrungszufuhr.

Da die Ernährung der Körperteile fast ausschließlich direkt aus dem Blute erfolgt, so müssen die durch die Nahrung in den Körper aufgenommenen Stoffe zuerst zu Bestandteilen des Blutes werden, welches dieselben dann an die verschiedenen Organe je nach Bedarf abgibt. Die in die Verdauungsorgane aufgenommenen und wirklich verdauten Nahrungsstoffe werden von dort aus zu geringem Teil direkt, zum weitaus größeren Teil durch die Vermittelung der Chylus- und Lymphgefäße der Verdauungsorgane dem Blute zugeführt. Aus dem Blute treten die Nährstoffe in Gestalt einer Ernährungsflüssigkeit durch die Kapillarwandungen aus und beginnen eine Wanderung von Zelle zu Zelle. Auf diesem Wege verrichtet die Nährflüssigkeit die ihr zufallenden Funktionen: ein Teil wird zur Neubildung verloren gegangener Organbestandteile verwendet, wird also zeitweilig im Organe fester gebunden zurückgehalten und damit für kürzere oder längere Zeit der lebhaftern Stoffbewegung im Organismus entzogen, welche durch die Körperflüssigkeiten vermittelt wird; ein anderer Teil unterliegt den Einflüssen der unter Sauerstoffaufnahme erfolgenden Zersetzung und dient dadurch der Hervorbringung von lebendiger Kraft im Organe; ein dritter Anteil der Nährflüssigkeit tritt in die Anfänge der Lymphgefäße ein und kehrt von da aus als Lymphe durch die vielverzweigten Lymphgefäßbahnen in die Blutgefäße und das Blut zurück, um wieder mit und aus diesem den Säftekreislauf von neuem zu beginnen. Da ununterbrochen aus jedem Organe ein Anteil der in diesen Geweben und Zellen enthaltenen Ernährungsflüssigkeit als Lymphe wieder zu dem Blute zurückströmt, so findet dadurch eine fortgesetzte Erneuerung des Blutes aus allen Körperorganen statt. Dabei werden nach kürzerer oder längerer Zeit auch im Organe fester gebundene, zum eigentlichen Gewebsaufbau verwendete Stoffe durch einen in gewissem Sinne auch als „Verdauung" zu bezeichnenden Verflüssigungsvorgang, der unter der Wirkung von „Verdauungsfermenten" im Zellprotoplasma eintritt, gelöst und der Gewebsflüssigkeit, aus welcher sie ja stammten, und mit ihr dem Lymphstrome wieder zugemischt.

Der Vorgang der Stoffzufuhr zum Blute, wie er sich in den Verdauungsorganen gestaltet, ist von dem eben beschriebenen Rückstrome der Ernährungsflüssigkeit als Lymphe aus den übrigen Körperteilen nicht prinzipiell verschieden. Die Lymph- oder Chylusgefäße des Verdauungsschlauches, welche nach Nahrungsaufnahme so reichlich mit dem weißen, fettreichen Milchsafte erfüllt sind (s. S. 37), führen auch im Hungerzustande und ebenso in jeder normalen Pause zwischen zwei Verdauungsperioden Ernährungsflüssigkeit, Lymphe, dem Blute zu. Die Darmlymphgefäße sind dann mit ähnlich durchsichtiger Lymphflüssigkeit gefüllt, wie sie aus allen anderen Körperorganen im ununterbrochenen Rücklaufe der Gewebsflüssigkeiten in das Blutgefäßsystem, zu dem Blute, zurückkehrt. Während der Verdauungsperioden mischen sich zu dieser eigentlichen „Darmlymphe" noch jene aus der Verdauung und Verflüssigung der als Nahrung aufgenommenen Stoffe

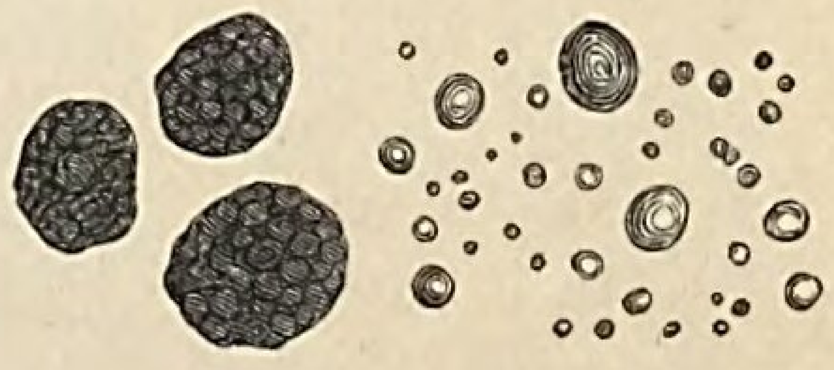
hervorgegangenen Flüssigkeiten zu, welche wir als Chylus, als Milchsaft, kennen lernten. Der Natur der Sache nach ist der Ersatz, welcher durch den Rückstrom der eigentlichen Lymphe dem Blute für die ihm im Ernährungsvorgang der Organe verloren gegangenen Bestandteile geleistet wird, nur ein teilweiser. Infolge der Nahrungsaufnahme und Verdauung findet periodisch noch eine weitere Rückvergütung statt, durch welche die Verluste des Blutes an Organnährbestandteilen in normalen Verhältnissen entweder vollkommen gedeckt, oder, wenn Wachstum stattfindet, durch Mehrzufuhr sogar über den Verbrauch hinaus ausgeglichen werden.

Die einfachen, wenig zahlreichen Nahrungsstoffe, welche der Organismus zum Aufbau seiner Organe, zur Neubildung für das Protoplasma seiner Zellen, braucht, werden teils einzeln, teils in verschiedener Mischung, als mehr oder weniger zusammengesetzte Nahrungsmittel, aufgenommen. Für das Verständnis des Verdauungsprozesses ist vorläufig zu konstatieren, daß in unseren Hauptnahrungsmitteln, wie Brot, Milch, Fleisch, Käse, Kartoffeln, Bier und anderen, jene einfachen Nährstoffe: Wasser, anorganische unverbrennliche Salze, Eiweißstoffe, Fette, Kohlehydrate (Zucker oder Stärkemehl), in verschiedener Mischung vorhanden sind neben gewissen für die Ernährungsvorgänge selbst minderwertigen organisch-chemischen Stoffen, wie einigen organischen Säuren und Basen, oder neben ganz unverdaulichen Holzfasern, Cellulose. Eine solche Mischung verschiedener einfacher Nährstoffe zeigen fast alle unsere tierischen und pflanzlichen Nahrungsmittel. Die graphische Darstellung auf der Tafel „Nährwert der Nahrungsmittel" ergibt in übersichtlicher Weise ihre chemische Zusammensetzung. Einfache Nährstoffe werden nur in geringem Umfange für die Ernährung des Menschen verwendet. Auch das „reine" Trinkwasser ist kein einfacher Nahrungsstoff. Es enthält je nach der geognostischen Formation, der es entstammt, verschiedene lösliche, anorganische, salzartige Bestandteile und daneben wenigstens noch Gase, namentlich Kohlensäure. Auf diesen Zumischungen beruht nicht nur der Wohlgeschmack, sondern auch die hygieinische Zuträglichkeit des Trinkwassers. Nur bei einigen wenigen der gebräuchlichen Nahrungsbestandteile überwiegt ein chemischer Nahrungsstoff die übrigen Beimischungen so bedeutend, daß wir sie im Vergleiche mit den zuerst genannten zusammengesetzten Nahrungsmitteln als einfache Nährstoffe bezeichnen dürfen; es sind das vor allen anderen Salz (Kochsalz), Zucker, Butter, Olivenöl. Auch das Stärkemehl des Handels, welches in den Haushaltungen zu feinen Mehlspeisen Verwendung findet, muß hier noch genannt werden, da es, abgesehen von einem geringen Gehalte phosphorsäurehaltiger Aschebestandteile, als reines Kohlehydrat erscheint. Dagegen enthält das gewöhnliche Brotmehl außer geringen Mengen von Wasser auch noch Eiweißstoffe, Fette, organische Säuren und anderes neben dem Stärkemehl, welches freilich auch bei ihm die Hauptmasse bildet. Annähernd reiner Eiweißstoff kommt bei der Ernährung des Menschen nicht zur Verwendung. Ein den Eiweißstoffen nahestehender, nahezu chemisch ungemischter Nährstoff, die Gelatine (Leim), kann das Eiweiß nicht in allen Beziehungen in der Nahrung ersetzen. Der Alkohol, welcher im Branntwein mit Wasser gemischt, aber sonst annähernd rein auftritt, in Bier und Wein jedoch sehr wesentliche Zumischungen enthält, kann nicht als eigentliches Nahrungsmittel betrachtet werden. Er wird mit anderen gebräuchlichen Nervenreizmitteln, welche wir in Tabak, Kaffe, Thee und anderem genießen, von den eigentlichen Nahrungsmitteln als „Genußmittel" unterschieden.

Durch die Zubereitung werden die Nährmittel und die in ihnen enthaltenen Nährstoffe vielfach chemisch verändert. Eins der bekanntesten Beispiele für diese Umänderung ist die Gerinnung der Eiweißstoffe durch Erhitzen, wodurch im allgemeinen ihre Verdaulichkeit gesteigert wird. Auch das Stärkemehl des Mehles erfährt unter dem Einflusse der Wärme eine wesentliche Umgestaltung. Durch starke Hitze geht das in Wasser unlösliche Stärkemehl in Stärkegummi, Dextrin, über, welches sich sowohl im Wasser als in den Verdauungssäften unseres Organismus löst.

Jeder Blick auf eine wohlbesetzte Tafel lehrt uns, wie weit sich die von uns als Nährmaterialien aufgenommenen Stoffe vom Blute unterscheiden. Die Aufgabe der Verdauungsorgane ist es, aus den vielerlei verschiedenen Speisen die für die Ernährung brauchbaren Stoffe herauszunehmen und in Bestandteile des Blutes zu verwandeln. Diese Überführung der in der Nahrung aufgenommenen Nährstoffe in das Blut erfordert eine Summe physikalischer und chemischer Einwirkungen, deren Ablauf in seiner Gesamtheit man als Verdauungsvorgang bezeichnet. Wir wenden unsere Aufmerksamkeit zunächst auf die verschiedenen chemischen Umgestaltungen der Nährstoffe in den Verdauungsorganen, um dann, ebenfalls im Zusammenhange, die physikalisch-mechanische Seite der Verdauungsvorgänge darzustellen.

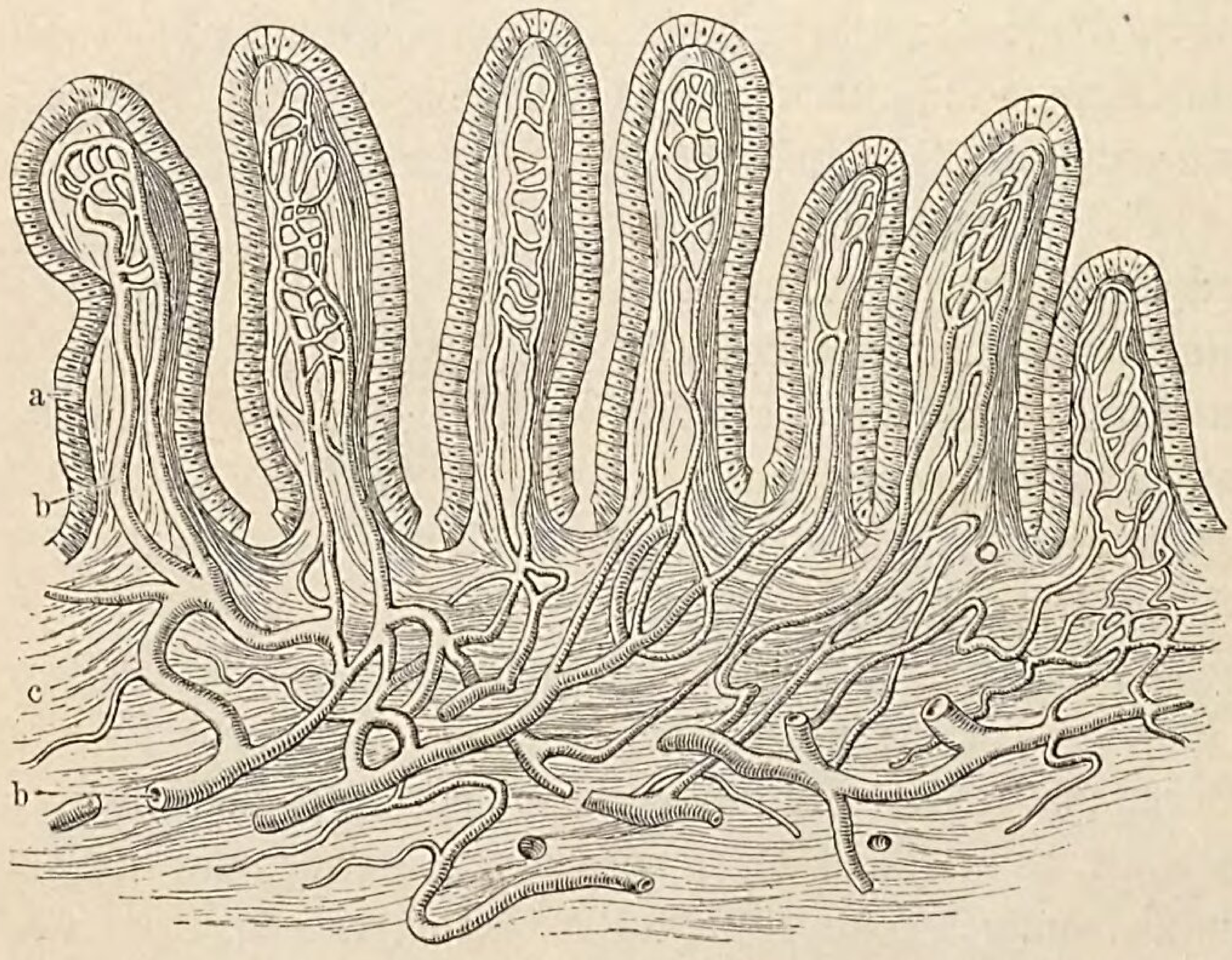
Ein Teil der in der Nahrung aufgenommenen Stoffe kann ohne weiteres, ohne tiefere chemisch-physiologische Umwandlung, zu Blutbestandteilen werden. Das gilt namentlich vom Wasser und von einem Teile der in wässeriger Lösung aufgenommenen oder im Wasser der Verdauungssäfte löslichen organischen und anorganischen Stoffe, wie: Kochsalz, Zucker, Alkohol ꝛc. Diese Stoffe können an jeder Stelle des Verdauungskanals von den Blut- und Lymphgefäßen direkt aufgesaugt werden. Doch fallen keineswegs alle gelöst und verflüssigt aufgenommenen Stoffe in diese Kategorie. Einige derselben werden durch die chemischen Bestandteile der Körpersäfte, denen sie nach ihrer Aufnahme begegnen, gebunden oder durch die saure oder alkalische Beschaffenheit derselben verändert. Der wichtigste Eiweißkörper der Milch, der in ihr gelöst enthaltene Käsestoff, das Kasein, wird, ehe er den lösenden Einwirkungen der Verdauungssäfte unterliegt, durch den Saft des Magens aus seiner Lösung ausgefällt (s. obenstehende Abbildung); auch im eigentlichen Darmkanal wiederholen sich noch ähnliche Vorkommnisse.


Milchkörperchen.

Wir haben schon darauf hingedeutet, daß sich auch die in fester Form aufgenommenen Nahrungsstoffe und Nahrungsmittel im Verdauungsvorgange wesentlich verschieden verhalten. Ein Teil derselben, namentlich die Salze und die meisten kristallinischen Stoffe, z. B. Zucker, lösen sich direkt in dem Wassergehalt der Verdauungssäfte und zwar meist schon im Speichel, so daß dann die Aufnahmebedingungen für solche feste Stoffe ziemlich die gleichen sind, als wären sie von vornherein gelöst aufgenommen worden. Ein anderer Teil der ungelöst als Nahrung zugeführten Stoffe und zwar die für den Organaufbau am allerwichtigsten: die geronnenen oder, wie das Kasein der Milch, durch den Magensaft in fester Form niedergeschlagenen Eiweißstoffe, die nächsten Abkömmlinge der Eiweißstoffe, wie das leimgebende Gewebe und der Leim, die Gelatine, dann das Stärkemehl und die Fette, sind ohne tiefere chemische Umwandlungen im Wasser und daher auch in den wässerigen Verdauungssäften unseres Körpers unlöslich. Das Wesen des chemischen Verdauungsaktes besteht nun darin, daß diese Substanzen in den Verdauungsorganen und zwar unter Einwirkung der von diesen abgesonderten verschiedenen Verdauungssäfte chemische Umänderungen erfahren, welche ihnen die Fähigkeit erteilen, sich in Wasser und wässerigen Verdauungsflüssigkeiten aufzulösen, um dann in gelöstem Zustand in die Blutmasse aufgenommen werden zu können. Am kompliziertesten gestaltet sich der Verdauungsvorgang bei Fettaufnahme; hier findet nicht nur eine chemische Umwandlung eines Teiles der aufzusaugenden Substanz statt, sondern auch eine gewisse Veränderung der aufsaugenden Organe selbst, der Verdauungsschleimhaut des Darmkanals.

Die Vorgänge bei dem Akte der chemischen Verdauung zeigen in den verschiedenen Abschnitten der Verdauungsröhre eine große Übereinstimmung. In Mundhöhle, Magen, Dünndarm und Dickdarm ergießen zu den mechanisch zerkleinerten Nahrungsbestandteilen die Verdauungsdrüsen, welche in die betreffenden Hohlräume münden, ihre Absonderungsflüssigkeiten, die Verdauungssäfte,

zum Teil in überraschend großen Quantitäten, unter deren chemischer Einwirkung sich die Speisen lösen. Die chemische Verdauung beginnt schon in der Mundhöhle. Hier werden die festen, durch die Kauwerkzeuge zerkleinerten und so vorbereiteten Speisen mit den Absonderungsflüssigkeiten der Drüsen der Mundhöhle vermischt. Durch willkürliche Bewegungen übergeben die Zunge und die Wangen dem Schlunde den Bissen, der von hier aus dann durch unwillkürliche Muskelthätigkeit in den Magen hinabgelangt und durch den langen Verdauungskanal befördert wird. Wie die dabei thätigen Muskelhäute, so sind auch alle weiteren bei der Verdauung erfolgenden mechanischen wie alle chemischen Einflüsse auf die verschluckten Speisen von unserem Willen unabhängig. Sie gehen unter dem stillen Walten des sympathischen Nervensystems vor sich, und nur einen störenden Einfluß auf den normalen Ablauf dieser lebenswichtigen Vorgänge können wir in manchen Fällen durch psychische Alterationen nachweisen.



Darmzotten. a) Äußere Zellenschicht, b) Blutgefäße, c) Gewebe der Schleimhaut. Vergrößert.

Die Entwickelungsgeschichte des menschlichen Organismus hat uns gelehrt, daß das gesamte Verdauungsrohr mit seinen Drüsenanhängen aus einer einheitlichen Anlage, die mehrere Hautschichten unterscheiden läßt, hervorgeht. Die kleinen Verdauungsdrüsen sind primär nichts als schlauchartige Ausbuchtungen der Innenschicht des Verdauungsrohres, welche wir als seine Schleimhaut kennen gelernt haben. Auch die größeren und großen Verdauungsdrüsen, die bei dem erwachsenen Organismus ihre Verdauungssäfte in die bestimmten Höhlungen ergießen, die Mundspeicheldrüsen, die Leber, die Bauchspeicheldrüse, sind, wie die Lungen, bei ihrer ersten Anlage nichts anderes als sackartige Ausstülpungen der Wandung des Verdauungsschlauches. Daraus ergibt sich auch im Körper des Erwachsenen eine unverkennbare Übereinstimmung in dem Bau aller der Organe, welche dem Verdauungsgeschäft durch Bereitung von Verdauungsflüssigkeiten dienen. Bei allen ist das wesentlichste die Schleimhaut, welche auf ihrer freien Innenfläche mit einer mehrschichtigen Epithelzellenlage überkleidet ist. Die Zellenformen und die physiologische Thätigkeit der Zellen auf der Innenfläche der Schleimhaut wechseln mit den verschiedenen Abschnitten des Verdauungskanales. Die Wandungen des Verdauungskanals sind reichlich von Blut- und Lymphgefäßen und Nerven durchzogen. In die Schleimhaut finden wir zahllose verschiedenartig gestaltete, meist mikroskopisch kleine Drüsen eingebettet, welche in der überwiegenden Mehrzahl als schlauchförmige oder verästelte, in die Tiefe eindringende Einbuchtungen der Zellenlagen der Schleimhautinnenschicht erscheinen. Diese Drüsen stellen also, abgesehen von ihren spezifischen Aufgaben, eine Flächenvermehrung der inneren Zellenschicht der Schleimhaut dar. Der letzteren Aufgabe entsprechen auch die von der inneren Schleimhautfläche sich frei erhebenden, ebenfalls mit den Zellenschichten derselben überkleideten zotten- oder fadenförmigen Anhänge, die Zotten oder Darmzotten, welche in wechselnden Formen und in reicher Anzahl verschieden nach den verschiedenen Darmregionen auftreten (s. obenstehende Abbildung). Die kleinen mikroskopischen

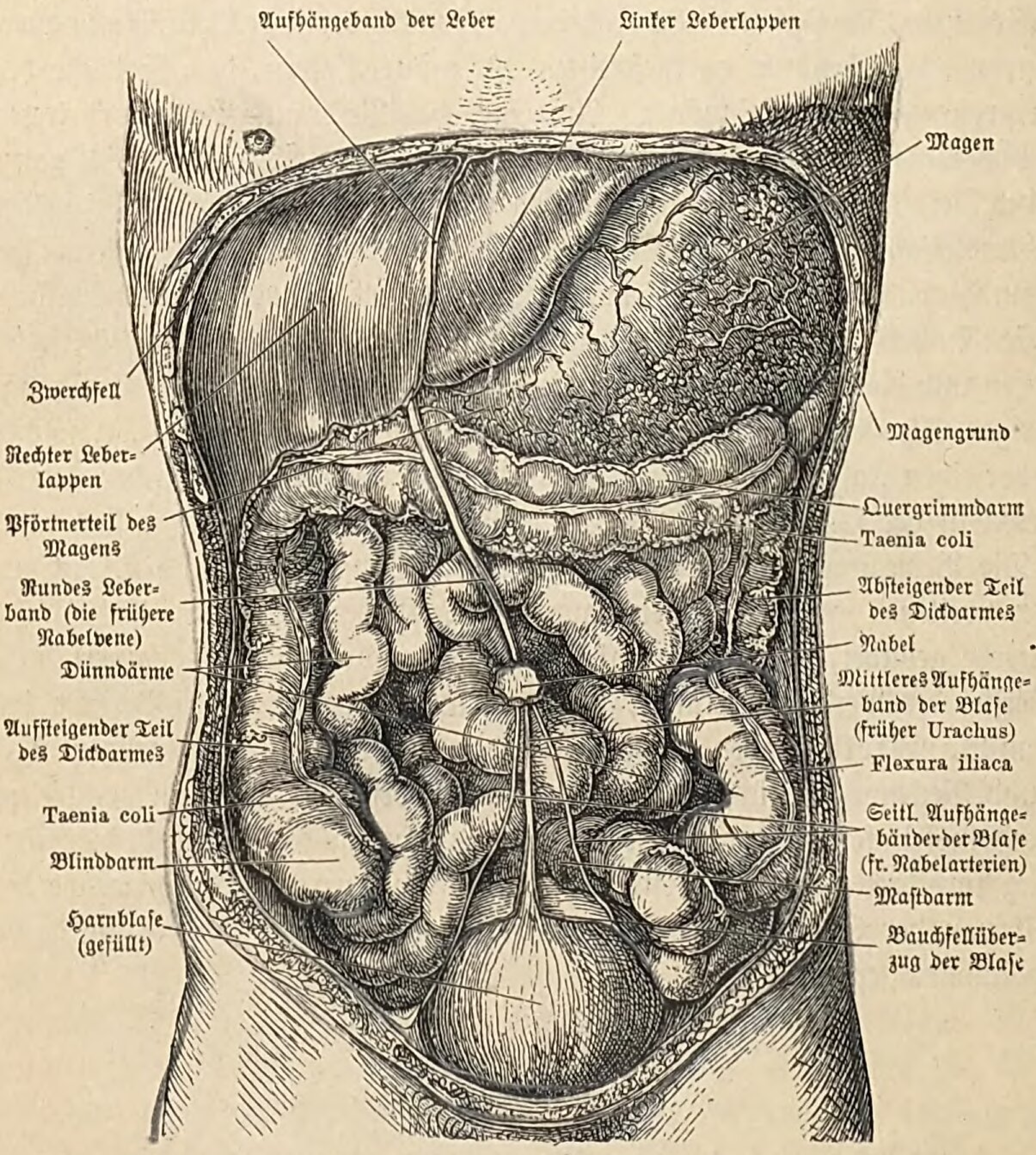
Drüschen der Schleimhaut des Verdauungskanals ergießen, wie die größeren Verdauungsdrüsen, ihre Absonderungsflüssigkeiten in die Verdauungshöhlungen.

Der Verdauungsschlauch erscheint also im wesentlichen als eine aus einer Muskelhautschicht gebildete Röhre, innen mit der Schleimhaut überzogen. Das Verdauungsrohr öffnet sich an den beiden Körperpolen. An der oberen Öffnung, der Mundhöhle, liegt die Schleimhaut dem Knochen und den Muskeln straff auf. Im Schlunde, dem Anfangsstück des eigentlichen Verdauungsrohres, beginnt eine eigene, als Muskelhaut sich charakterisierende Muskellage sich unter der Schleimhaut auszubreiten; hier ordnen sich die Fasern der Muskellage noch in getrennte Muskelindividuen. Die Fasern selbst erscheinen bei mikroskopischer Betrachtung quergestreift und gehorchen, wie die ebenfalls quergestreiften Skeletmuskelfasern, dem Antriebe des Willens; sie besorgen großenteils den Schluckakt. Am Ende des Verdauungsschlauches treten wieder willkürlich zu bewegende quergestreifte Muskelfasern in der Muskelhaut auf. Die ganze übrige lange Strecke des Verdauungsrohres mit dem Magen und dem Blinddarm besitzt in der überall vorhandenen Muskelfaserschicht nur jene glatten Muskelfasern, welche, wie wir wissen, den unwillkürlichen, vom sympathischen Nervensystem vermittelten Bewegungsantrieben gehorchen. Am Magen setzt sich die Muskelhaut aus drei Lagen zusammen, deren Muskelfasern in verschiedener Richtung verlaufen und damit eine verschiedene Bewegungswirkung besitzen (s. Abbildung, S. 50). An den übrigen Strecken des Verdauungsrohres unterscheidet man nur zwei solcher Muskelfaserlagen: in der einen Faserlage verlaufen die glatten Muskelzellenlagen in der Längsrichtung, in der anderen in der Querrichtung des Darmrohres. Die Querfaserzüge sind ringförmig angeordnet. Die Bewegungsrichtung der einen Fasergattung steht also senkrecht zur Bewegungsrichtung der zweiten. Zwischen Schleimhaut und Muskelhaut tritt noch eine Schicht, von lockerem Bindegewebe gebildet, das Unterschleimhautgewebe. Fast der ganzen Ausdehnung nach ist äußerlich der Verdauungskanal, soweit er in dem anatomischen Bereiche des Bauches liegt, von dem Bauchfell (s. oben, S. 50) überzogen, welches auch den größten Teil der übrigen Bauch- und Beckenorgane überkleidet. Auf der Anwesenheit und dem verschieden gerichteten Verlaufe der Muskelfasern in der Muskelhaut des Verdauungsrohres beruht die Möglichkeit jener wurmartig fortschreitenden, „peristaltischen" Bewegungen, durch welche der hinabgeschluckte Inhalt von der Speiseröhre in den Magen und aus diesem durch die ganze Länge des Verdauungskanales gepreßt wird.

Verdauung in der Mundhöhle.

Keineswegs ist der Akt der Mundverdauung ein rein mechanischer, wenn auch immerhin die mechanische Zerkleinerung der Speisen durch die Zähne und die reichliche Durchtränkung mit den Mundflüssigkeiten, welche einerseits wie Wasser lösend wirken, anderseits den Bissen zum Verschlucken weich und schlüpfrig machen, von vorwiegender Bedeutung sind. Neben diesen mechanischen Akten beginnt in der Mundhöhle aber schon einer jener merkwürdigen chemischen Verdauungsprozesse, welche die moderne physiologische Chemie mit Gärungsvorgängen vergleicht. Zu einer Gärung bedarf es eines Gärungserregers und einer der Gärung fähigen Substanz. Die Substanz, welche in der Mundhöhle dem chemischen Verdauungsvorgange, also einer Art von Gärung, unterliegt, ist das Stärkemehl; der Gärungserreger, welcher das Stärkemehl chemisch umwandelt, ist ein Bestandteil des Speichels, das Ptyalin, die Speicheldiastase.

Die Verdauung der Stärke veranschaulicht uns in sehr verständlicher Weise die chemische Seite eines spezifischen Verdauungsaktes. Stärkemehl, obwohl einer der wichtigsten Nährstoffe, welcher namentlich im Brot und in allen aus Körnerfrüchten bereiteten Nahrungsmitteln in überwiegender Menge vorkommt, findet sich unverändert nicht als Körperbestandteil des Menschen. Da Stärkemehl in Wasser unlöslich ist, ja auch in heißem Wasser nur zu einer Gallerte aufquillt, ist es ohne tiefere chemische Umwandlung ungeeignet, ein Bestandteil des wässerig-flüssigen Blutes zu werden. Unter der Einwirkung gewisser chemischer Agenzien sehen wir außerhalb des Organismus, z. B. in dem Prozesse der Bier- und Branntweinbereitung, das Stärkemehl verhältnismäßig leicht zunächst in Stärkegummi, Dextrin, und weiterhin in Zucker, Traubenzucker, sich umwandeln. Der hierbei thätige Gärungserreger, als dessen Wirkung die Zuckerbildung aus Stärkemehl erscheint, ist die im Malz enthaltene Diastase. Der Vorgang der Verdauung des Stärkemehls in der Mundhöhle steht dem eben geschilderten sehr nahe. Wenn wir stärkemehlhaltige Substanzen (Brot und andere) längere Zeit kauen oder außerhalb des Mundes mit Speichel in Berührung lassen, so geht infolge der Wirkung der Speicheldiastase das Stärkemehl schließlich vollkommen durch die Zwischenstufe des Dextrins in Traubenzucker über. Der Zucker ist nun aber ebenso wie im Wasser leicht in den Verdauungssäften, im Speichel, löslich und kann ohne weitere Schwierigkeiten der Aufsaugung in Lymphe, Chylus und Blut unterliegen. Der Vorgang der Stärkeverdauung in der Mundhöhle besteht also darin, daß durch den im Speichel enthaltenen Gärungserreger, durch das Ptyalin oder die Speicheldiastase, das in Wasser und den Körperflüssigkeiten unlösliche Stärkemehl in ein leicht lösliches chemisches Umwandlungsprodukt übergeführt wird. Wir werden finden, daß auch die Verdauung der festen Eiweißstoffe und des leimgebenden Gewebes, wie des Leimes, der Gelatine, welche an sich ebenfalls in Wasser und in den Körperflüssigkeiten unlöslich sind, auf einer Umwandlung in lösliche Produkte durch Vermittelung von Gärungserregern beruht.



Bauchorgane in ihrer natürlichen Lage nach Entfernung der Bauchdecken.

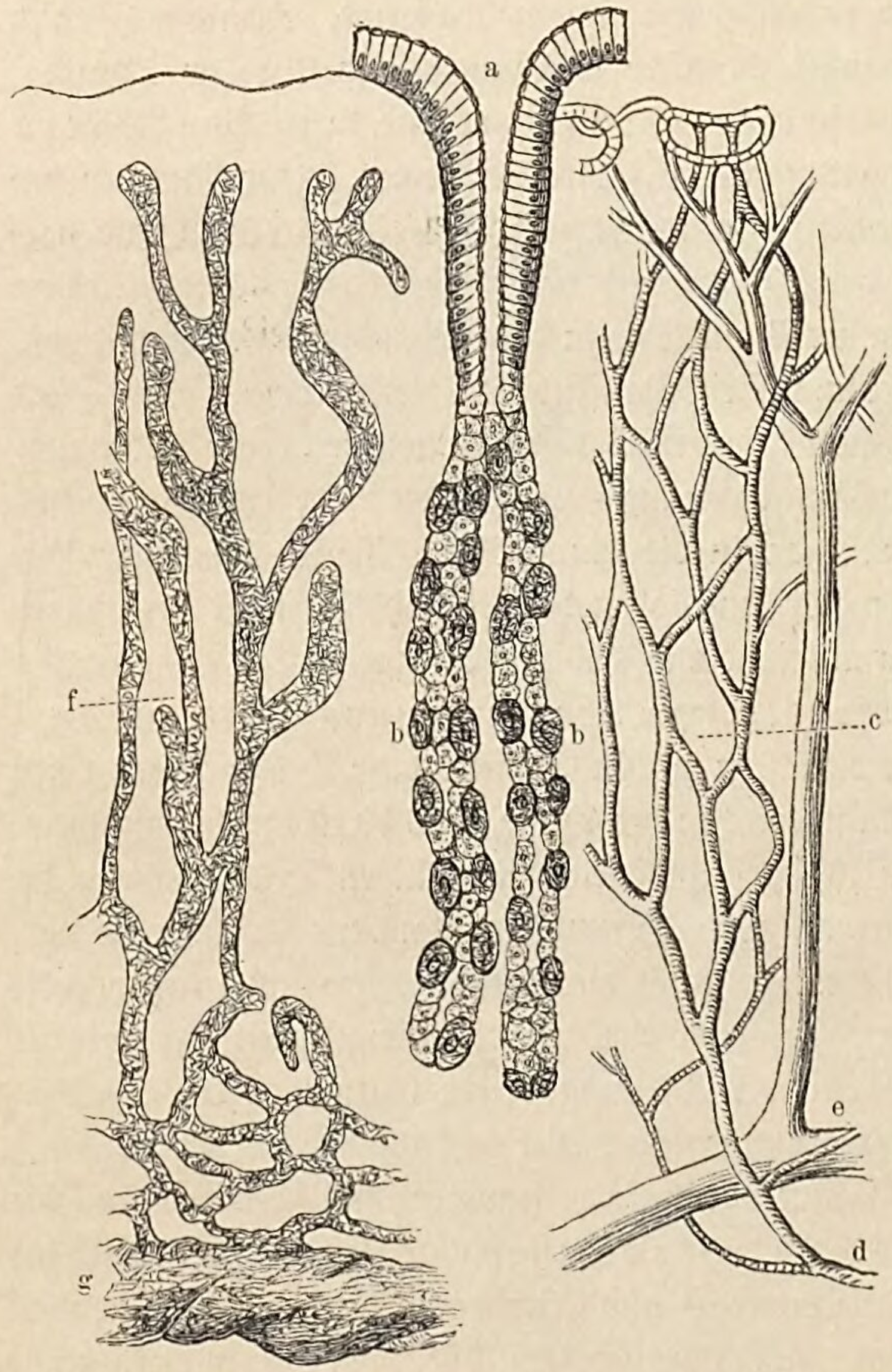
Die Speisen verweilen in der Mundhöhle nur so kurze Zeit, daß hierbei die Umwandlung alles Stärkemehls der Nahrung in Zucker nicht erfolgen kann. Es läßt sich zwar in einem durchkauten Brotbissen stets eine nicht ganz geringe Menge in der Mundverdauung gebildeten Zuckers nachweisen, aber doch gelangt die Hauptmenge des Stärkemehls der Nahrung aus der Mundhöhle noch unverdaut in den Magen. Im Magen schreitet, zunächst unter Fortwirkung des mitverschluckten Speichels, die Zuckerbildung aus Stärkemehl noch weiter; aber erst im Darmkanal und unter Einwirkung neuer Verdauungsflüssigkeiten wird diese Überführung vollendet.

Der Speichel erscheint der chemischen Untersuchung als eine wässerige, salzhaltige Flüssigkeit, welche außer dem Ptyalin wenig organisch-chemische Substanzen enthält. Der Speichel wird auf Nervenreiz von den Speicheldrüsen abgesondert und in die Mundhöhle ergossen, wo er sich mit den zähen Ausscheidungsflüssigkeiten zahlreicher kleiner, in der Mundschleimhaut eingebetteter Schleimdrüsen zu dem Mundspeichel mischt. Die Speicheldrüsen sind nach dem Schema der traubenförmigen Drüsen gebaut. Es sind drei Paar von Speicheldrüsen vorhanden, welche symmetrisch zu beiden Seiten der Mundhöhle in deren Wandungen nicht weit voneinander entfernt angeordnet sind: die Unterzungenspeicheldrüsen, die Unterkieferspeicheldrüsen und die größten dieser drüsigen Organe, die beiden Ohrspeicheldrüsen. Von jeder der beiden letzteren läuft ein langer und relativ weiter Ausführungsgang quer über die Wange nach vorn und mündet gegenüber dem zweiten oberen Backenzahn in die Mundhöhle. Die Ausführungsgänge der übrigen kleineren Speicheldrüsen öffnen sich am Boden der Mundhöhle unter der Zunge. Die in 24 Stunden von den Speicheldrüsen abgesonderte Flüssigkeitsmenge beträgt etwa 1 Liter. Wie die des Speichels, so erfolgt die Absonderung aller Verdauungssäfte auf Nervenreiz. Es treten Nervenstämme und Nervenfasern zu den Drüsen; diese Drüsennerven rufen teils indirekt durch eine Vermehrung des Blutstromes in der Drüse, teils direkt durch wahrscheinlich elektrolytische Einwirkung auf die die Flüssigkeit ausscheidenden zelligen Drüsenelemente die Absonderung der Verdauungsflüssigkeiten hervor. Die Drüsennerven stammen vorzugsweise vom sympathischen Nervensystem, jedoch hat sich, wenigstens für die Speicheldrüsen, auch eine nervöse Beeinflussung durch Gehirnnerven und zwar durch die Bahnen des dreigeteilten Nerven, des Trigeminus, nachweisen lassen. Durch elektrische Reizung beider Gattungen der Speicheldrüsennerven kann man gesteigerten Speichelausfluß erzielen. Bei mechanischen Berührungen der Mundschleimhaut durch die Speisen, noch stärker aber infolge gewisser chemischer Reize auf die Empfindungsnerven der Mundhöhle, wie sie durch die Gewürzstoffe ausgeübt werden, wird die Speichelabsonderung auf reflektorischem Wege angeregt und befördert. Aber, wie das die vorhandenen Nervenverbindungen vermuten ließen, auch psychische Einflüsse, vom Gehirn ausgehend, können wir für die Speichelabsonderung nachweisen; schon die Vorstellung einer wohlschmeckenden Speise ruft bei Hungernden reichliche Speichelabsonderung hervor.

Magenverdauung und Wert der Zubereitung und Würzung der Speisen.

Wenn der durchfeuchtete und zermalmte Bissen aus der Mundhöhle dem Schlunde und der Speiseröhre und durch die von oben nach unten „wurmförmig“ (peristaltisch) fortschreitenden Bewegungen der letzteren dem Magen übergeben ist, hat, wie gesagt, der chemische Lösungsprozeß, den wir Verdauung nennen, schon an einem der wichtigsten Nahrungsbestandteile begonnen, und zwar in der Mundhöhle. Schlund und Speiseröhre üben bei dem Menschen auf die rasch durchpassierende Nahrung keine verdauenden Einwirkungen aus.

Man hat früher auch von seiten der Ärzte, wie es das Publikum noch heute zu thun liebt, den Magen als Zentralorgan der Verdauung betrachtet. Wirklich verweilen die Speisen längere Zeit in diesem Verdauungsorgan und erleiden hier physikalische und chemische Umgestaltungen sehr wichtiger Art. Trotzdem erscheint uns nach dem jetzigen Stande des physiologischen Wissens der Magen, wie die Mundhöhle, nur als ein die volle Verdauung vorbereitendes Organ, während im Dünndarm die chemischen Verdauungsprozesse nicht nur am lebhaftesten vor sich gehen, sondern auch, abgesehen von normal relativ geringfügigen Unterstützungen von seiten des Dickdarmes, bis an das dem jeweiligen Verdauungsvermögen des Organismus entsprechende Endstadium vorschreiten. Wie in der Mundhöhle die Umwandlung des Stärkemehls in ein lösliches Produkt, in Traubenzucker, beginnt, so beginnt im Magen die Lösung der Eiweißstoffe sowie des leimgebenden Gewebes und des Leimes, der Gelatine, zu chemischen Modifikationen, welche im stande sind, relativ leicht in die Säftemasse des Organismus einzutreten. Man nennt diese gelösten Eiweiß- und Leimstoffe Peptone. Wenn die Speisen den Magen verlassen, so sind sie in einen Brei, Chymus, verwandelt, welcher zwar in physikalischer Beziehung den aufgenommenen Speisen gegenüber schon sehr veränderte Verhältnisse erkennen läßt, sich aber chemisch noch nicht sehr bedeutend von der Zusammensetzung der genossenen Nahrungsmittel unterscheidet. In chemischer Beziehung besteht, wie wir sahen, die hauptsächlichste Veränderung darin, daß ein Teil des Stärkemehls in Dextrin und Zucker, ein Teil der Eiweißstoffe und des leimgebenden Gewebes und Leimes in Peptone umgewandelt worden ist.

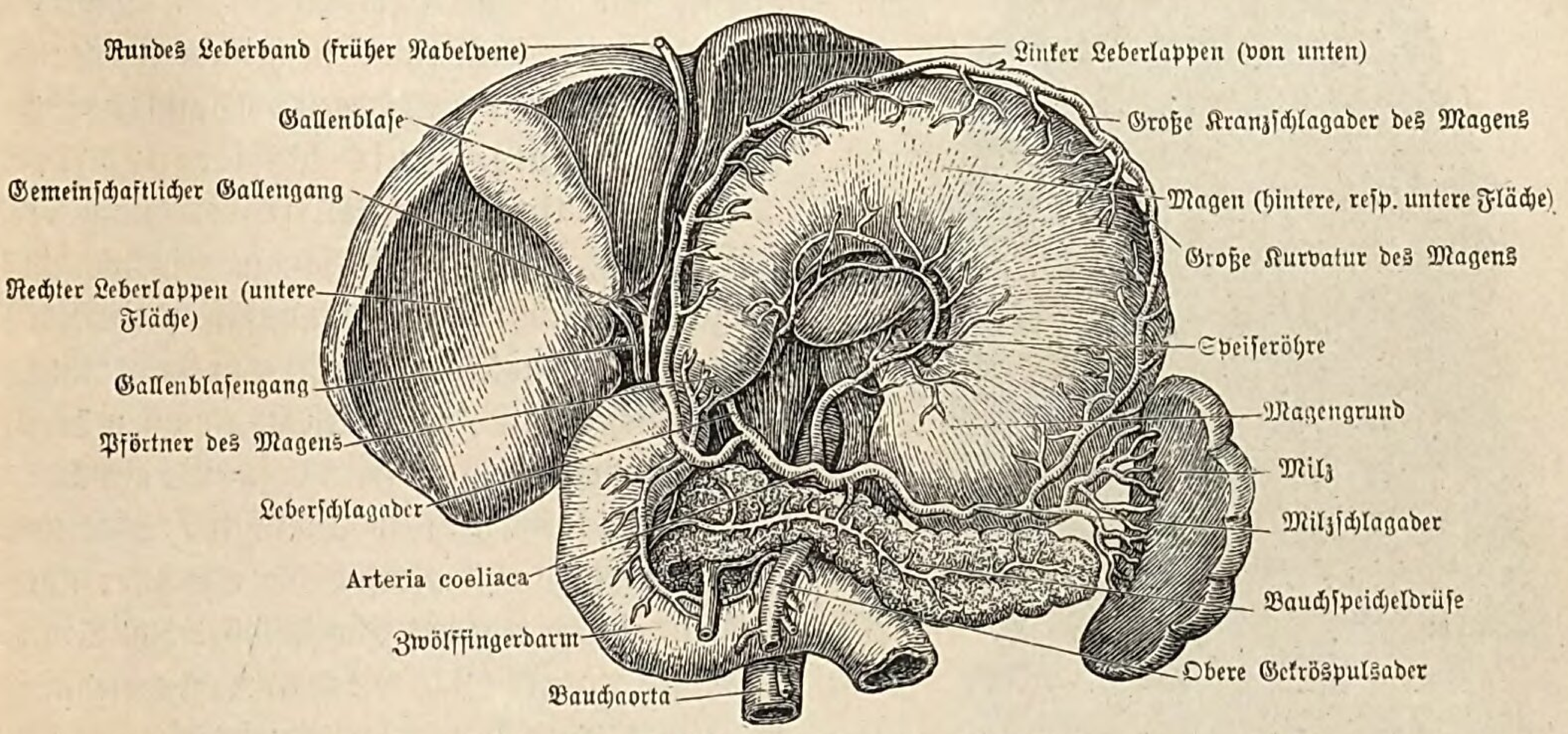


Senkrechter Durchschnitt der Magenschleimhaut.

a) Magengrübchen, b, b) zwei Labdrüsen, c) Netz der die Magendrüsen umspinnenden Blutgefäßkapillaren, d) Arterien, e) Venen, f) Lymphgefäßkapillaren, g) größeres Lymphgefäßstämmchen. Stark vergrößert.

Die verdauende Fähigkeit des Magens beruht, wie die der Mundhöhle, auf einer spezifischen Flüssigkeit, dem Magensaft, welcher infolge von mechanischer oder chemischer Reizung der Magenschleimhaut reichlich aus den in der letzteren eingebetteten mikroskopischen Magensaftdrüsen oder Labdrüsen ergossen wird. Die innere Oberfläche der Magenschleimhaut ist mit cylinderförmigen Zellen überkleidet, welche auch in das Innere derselben eindringen. Die ganze Schleimhaut des Magens ist mit zahlreichen, im wesentlichen schlauchförmig gestalteten mikroskopischen Drüsen durchsetzt, welche so dicht nebeneinander stehen, daß nur noch zarte Bindegewebslagen mit eingestreuten, bei der Entleerung der Magendrüsen thätigen glatten Muskelfasern und zahlreichen reichverästelten Blutgefäßen, Lymphgefäßen und Nerven zwischen den Drüsen Platz

finden. Schon dem freien oder schwach bewaffneten Auge zeigt die innere Magenoberfläche kleine, runde Grübchen, die Magengrübchen, welche mit demselben cylinderförmigen Zellenbelag wie die Schleimhautoberfläche überkleidet sind. In diese Magengrübchen münden die schlauchförmigen Magendrüsen ein, von denen wir schon bei der Übersicht über den Bau der Gewebe zwei verschiedene Arten unterscheiden lernten. Die eine Art, die Magenschleimdrüsen, steht namentlich an dem gegen den Dünndarm zu gewendeten Endteile des Magens und ist von oben bis unten mit den besprochenen cylinderförmigen Zellen austapeziert. Ihr zähes, schleimiges, spärliches Absonderungsprodukt wird Magenschleim genannt. Die zweite Art der Magendrüsen bilden die ebenfalls schlauchförmigen Magensaftdrüsen oder Labdrüsen, welche den eigentlichen Magensaft absondern. Sie münden, wie die erstbeschriebenen, in größerer Anzahl in je ein Magengrübchen (s. Abbildung, S. 278) ein, das als ihr gemeinschaftlicher Ausführungsgang erscheint, obwohl die Form der auskleidenden Zellen in den Magensaftdrüsen eine andere als in den Magengrübchen



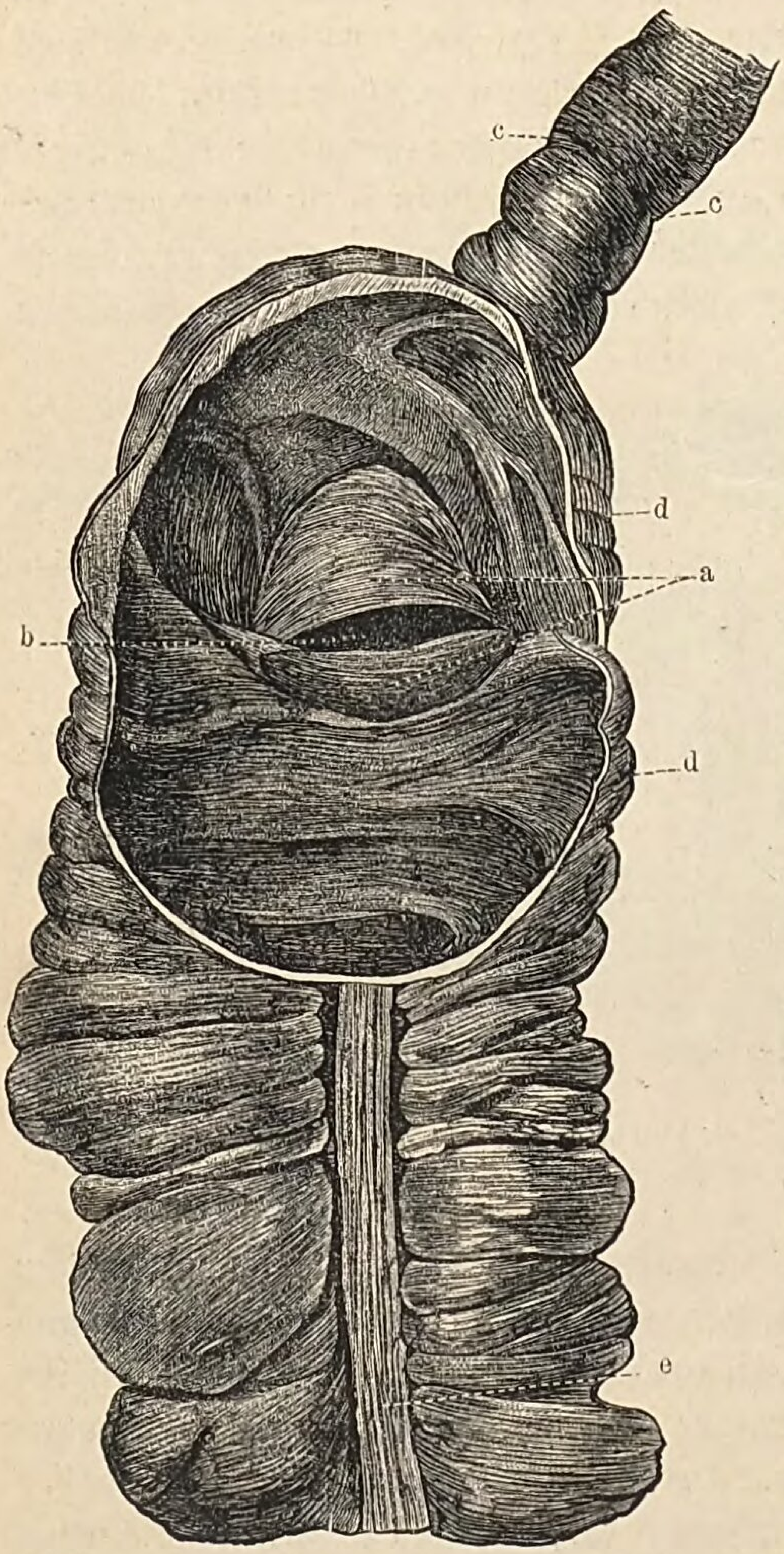
Leber, Magen, Milz und Bauchspeicheldrüse.
(Magen und Leber nach oben umgeschlagen, also von der hinteren, bez. unteren Fläche her gesehen.)

ist. In den Magensaftdrüsen sind die von einer zarten Hautschicht gebildeten schlauchförmigen Wandungen mit kugeligen kleineren und etwas weniger zahlreichen, aber ebenfalls kugeligen größeren Zellen ausgekleidet; das Magengrübchen zeigt Cylinderzellen. Solange der Magen leer ist, liefern nur seine Schleimdrüsen eine geringe Menge ihrer schwach alkalischen Absonderungsflüssigkeit; wenn aber die gesunde Magenschleimhaut gereizt wird und zwar normal dadurch, daß die verschluckten Speisen die Magenschleimhaut mechanisch berühren und teilweise auch chemisch reizend auf sie wirken, so beginnt sofort die Absonderung des eigentlichen Magensaftes, welche in den Verdauungsperioden eines Tages etwa 4 Liter Flüssigkeit liefert.

Der Magensaft besteht, wie der Speichel, der weit überwiegenden Menge nach aus Wasser, sein spezifisches Gewicht ist daher von dem des Wassers kaum unterschieden. Er hat einen charakteristischen sauren Geruch und Geschmack. Seine saure Beschaffenheit rührt von freier Salzsäure her, die im menschlichen Magensaft etwas mehr als 0,02 Prozent beträgt. Außer der Säure und einigen anorganischen Salzen enthält der Magensaft, wie der Speichel, ein eignes Verdauungsferment, das Pepsin, auf dessen Vorhandensein die chemische Wirkungsfähigkeit des Magens hauptsächlich beruht. In Gemeinschaft mit der freien Salzsäure führt das Pepsin im Magen (wie auch im Experiment außerhalb desselben) Eiweißstoffe, leimgebendes Gewebe und Leim in Peptone über und zwar um so rascher, je reicher der Magensaft an Pepsin ist.

Verdünnte Salzsäure von dem Säuregrad des Magensaftes oder noch etwas stärker, bis 0,3 Prozent, wirkt für sich allein schon lösend auf die genannten Stoffe ein, indem sie aus Eiweißstoffen „Säurealbuminat“ bildet, eine Vorstufe der Peptonbildung, die auch zuerst im Magen entsteht.

Die flüssigen **Peptone** (man bezeichnet sie als Eiweiß- und Leimpepton, doch ist auch das Eiweißpepton kein wirklich einheitlicher Körper) unterscheiden sich von den flüssigen Eiweißstoffen und dem Leim durch ihr gesteigertes Vermögen, poröse Scheidewände, z. B. feuchte tierische Membranen, leichter und rascher zu durchsetzen. Was als eine wässerige Lösung unveränderter Eiweißstoffe erscheint, ist im wahren Sinne des Wortes meist nur eine Quellung oder nur eine unvollkommene Lösung. Ebenso quillt bekanntlich der Leim in Wasser nur zu einer Gallerte auf, in ähnlicher Weise, wie das Stärkemehl in heißem Wasser zu Kleistergallerte wird. Dagegen **bilden Eiweiß- wie Leimpeptone mit Wasser und den wässerigen tierischen Flüssigkeiten wahre Lösungen**, welche die Aufsaugung in die Anfänge der Lymph- oder Chylusgefäße verhältnismäßig leicht gestatten. Das Eiweißpepton unterscheidet sich chemisch von den Eiweißstoffen durch die Aufnahme der chemischen Elemente des Wassers, es ist selbst noch ein Eiweißstoff, aber eine Wasserverbindung, wie sich die Chemiker ausdrücken, ein Hydrat der Eiweißstoffe. Im Organismus verwandelt sich, wie man wohl annehmen muß, das Eiweißpepton wieder in die uns als Gewebsbildner bekannten Eiweißmodifikationen zurück. In ähnlicher Weise scheinen sich auch die Leimpeptone zum Leim zu verhalten. Der Magensaft löst leimgebendes Gewebe, Sehnen, Knochen, Knorpel, Zellenmembranen ꝛc., zunächst unter Bildung von Leim, Knochenleim und Knorpelleim, auf, welche dann in Leimpeptone übergehen. Das Leimpepton unterscheidet sich vom Leim durch den Mangel der Gerinnungsfähigkeit.



Übergangsstelle zwischen Dünn- und Dickdarm.
a) Bauhinische Klappe, b) Öffnung derselben, c) Ende des Dünndarmes (Ileum), d) Colon, aufgeschnitten, e) Taenia coli.

Wie wir schon angegeben, wird ebensowenig, wie in der Mundhöhle alles Stärkemehl in Zucker übergeführt wird, im Magen die Gesamtquantität an Eiweißstoffen und Leim in Pepton umgewandelt. Der Speisebrei, welcher vom Magen dem Dünndarm übergeben wird, enthält die Hauptmasse der aufgenommenen Speisen zwar mechanisch zur Vollendung der Verdauung vorbereitet, aber in chemischer Hinsicht doch noch unverdaut.

Der Magen (s. Abbildung, S. 50) erscheint als die quer unter dem Zwerchfell von links nach rechts sich erstreckende, also winkelig abgebogene, erweiterte Fortsetzung der Speiseröhre. Im ganzen liegt der Magen mehr in der linken Hälfte der Bauchhöhle, rechts gegen die Leber, links gegen die Milz gewendet. Auf der linken Seite tritt von obenher die Speiseröhre in den Magen

ein; an der Mündungsstelle, dem Magenmunde, befindet sich eine wulstige, mit stärkeren Ringmuskeln durchsetzte Verdickung des Speiseröhrenendes; durch die reflektorisch eintretende Zusammenziehung dieser Ringmuskeln kann der Magenmund gegen die Speiseröhre abgeschlossen werden. Immerhin ist dieser Verschluß kein so fester, daß nicht die an diesem höchsten Punkte des Magens sich anhäufenden Gase, namentlich die mit Speisen und Getränken verschluckte Luft, diesen Verschluß durchbrechen könnten. Vom Magenmunde an erweitert sich der Magen stark, bildet zuerst einen halbkugeligen, nach links gewendeten Blindsack, den Magengrund; von hier aus wird der Magen allmählich enger und geht, auf der oberen Seite konkav, auf der unteren Seite konvex nach aufwärts gebogen, in den Zwölffingerdarm, das Anfangsstück des Dünndarmes, über. Die obere konkave Biegung der Magenwand heißt die kleine, die untere konvexe Biegung die große Krümmung oder Kurvatur des Magens.

An der Mündungsstelle des Magens in den Zwölffingerdarm findet sich eine ventilartige Verschlußvorrichtung, welche schon im Altertum als Pförtner des Magens bezeichnet wurde (s. Abbildung, S. 285), weil er, wie sich Galenus ausdrückte, als ein guter Thürhüter darüber wache, daß nur der aufgelöste und verdaute („gekochte") Speisebrei durch seine enge Pforte hindurchgehe, während er, sobald etwas Unverdautes oder Hartes ihm nahe, die Öffnung vor ihm zuschließe und dasselbe zurücktreibe in den Grund des Magens. Dieser Pförtner ist eine ringförmig in die verengerte Magenmündung vorspringende muskulöse Hautfalte mit einer kreisrunden zentralen Öffnung, welche von ringförmig angeordneten Muskelfasern umkreist wird. Ziehen sich diese Muskelringe zusammen, so verengern oder verschließen sie die Mündung des Pförtners; erschlaffen sie, so erweitert sich die Mündung. Die Muskelringe des Pförtners verhalten sich in dieser Beziehung etwa ähnlich wie die Muskelringe in der Regenbogenhaut des Auges, in der Iris, welche ebenfalls die zentrale runde Öffnung derselben, die Pupille, das Sehloch des Auges, umkreisen und, indem sie sich zusammenziehen oder erschlaffen, die Pupille, das Sehloch, bald erweitern, bald verengern. Die Muskelringe des Pförtners bleiben, da sie sich wie jene des Magenmundes reflektorisch unter dem reizenden Einfluß, welchen feste Substanzen auf die Empfindungsnerven der Magenschleimhaut ausüben, zusammenziehen, so lange geschlossen, bis die Speisen in dem Magen zu dünnflüssigem Speisebrei, zu Chymus, geworden sind. Dann erst öffnet sich der Pförtner, und der Speisebrei tritt nun unter der Wirkung der Kontraktionen des Magens rhythmisch in kleinen Portionen in den Anfangsteil des Dünndarmes ein.

Die Untersuchung der physiologischen Vorgänge im Magen mußte so lange unvollständig bleiben, bis es gelang, einen wirklichen physischen Einblick in den verdauenden Magen selbst zu erlangen. Erst seitdem man die Magenverdauung in „Magenfisteln" untersuchen konnte, hat sich ein volles Verständnis der Bedeutung des Magens für die Gesamtverdauung gewinnen lassen. Dieser wichtige Fortschritt in den exakten Erfahrungen der Physiologie wurde dadurch eingeleitet, daß man bei Menschen zufällig entstandene Magenfisteln, d. h. offene, aber sonst verheilte Verbindungen zwischen äußerer Bauchhaut und den Wandungen der Magenhöhle, zur Beobachtung benutzen konnte. Diese Magenfisteln gestatteten es, die Magenabsonderung und die Magenverdauung in dem Magen eines lebenden und gesunden Menschen direkt zu beobachten. Um die Mitte der dreißiger Jahre unseres Jahrhunderts veröffentlichte zu Boston in Amerika ein physiologisch gebildeter Arzt, Baumont, Untersuchungen über den Magensaft und die Physiologie der Verdauung des Menschen, begründet auf eingehende Studien, welche er an seinem Diener Saint-Martin hatte anstellen können. Infolge einer Schußwunde hatte sich bei diesem sonst vollkommen gesunden und rüstigen Manne eine ansehnliche bleibende Öffnung gebildet, welche von der äußeren Leibesoberfläche in den Magen führte, indem die Ränder der Hautwunde mit den Rändern der Magenwunde verwachsen waren. Von dem oberen Wundrande ging eine Falte der Magenhäute

aus, welche für gewöhnlich die Wundöffnung so vollkommen verlegte, daß die Magenverdauung ohne jegliche Störung vor sich gehen konnte. Durch Eindrücken dieser Falte konnte aber der falsche Eingang in die Magenhöhle geöffnet werden, so daß man bis zu einer Tiefe „von 5—6 Zoll" in sie hineinzublicken vermochte. Etwa 20 Jahre später wurde ein ähnlicher Fall auch von deutschen Gelehrten einer sorgfältigen Beobachtung unterzogen.

Die Untersuchungen Baumonts mußten das größte Interesse der Wissenschaft und des Publikums hervorrufen. Solange man glaubte, den Magen für das Zentralorgan der Verdauung halten zu dürfen, schienen die Versuche an Magenfisteln vollen Aufschluß über die „Verdaulichkeit" der Speisen geben zu können. Immerhin kann auch jetzt noch, nachdem man durch diese und ähnliche Untersuchungen weiß, daß der Hauptakt der Verdauung im Dünndarm erfolgt, der Arzt aus diesen Versuchen wichtige Anhaltepunkte entnehmen für die zweckmäßige Wahl von Nahrungsmitteln, namentlich wenn es darauf ankommt, der Leistungsfähigkeit eines leidenden oder schwachen Magens nicht zu viel zuzumuten. Baumont unterzog bei seinem Diener vor allem die zubereiteten Speisen, wie sie von den gebildeten Ständen genossen werden, einer genauen Untersuchung in Beziehung auf ihr Verhalten im Magen. Er bestimmte, daß die Zeit für die Verdauungsarbeit des Magens bei verschiedenen dieser Speisen in sehr weiten Grenzen, von 1—6 Stunden, schwanke. Gewiß ein sehr beherzigenswertes Resultat! Gekochte Kaldaunen und Schweinsfüße sah Baumont schon nach 1 Stunde aus dem Magen seines Magenfistelmannes verschwinden, gebratenes Wildbret nach 1½, Brot und Milch nach 2, wilde Gans, junges Schwein nach 2½, Austern nach 2¾—3½; ebenso lange Zeit bedurfte gebratenes Rindfleisch; gekochtes Rindfleisch fand er schwerer verdaulich, die Verdauungszeit desselben stieg auf 3½—4½ Stunden, ebenso lang war sie für frisches gebratenes Schweinefleisch; geräuchertes Rindfleisch bedurfte im Maximum 5, geräuchertes Schweinefleisch 6 Stunden, um den Magen zu passieren. Auch das Kalbfleisch, welches man in Deutschland für besonders leichtverdaulich zu halten pflegt, erscheint in der Baumontschen, nach der „Magenzeit" geordneten Liste erst ziemlich spät, mit 5½ Stunden; die gleiche Zeit bedurften hart gesottene Eier, Lammfleisch dagegen nur 4½ Stunden. Auch die Milch braucht eine nicht ganz kurze Zeit zu ihrer Magenverdauung. Wir haben schon erwähnt, daß der in der Milch gelöst aufgenommene Hauptmilcheiweißstoff, das Kasein, in Berührung mit dem Magensaft sofort in Flocken und Ballen gerinnt. Der Magen greift also erst das geronnene Kasein chemisch an und verwandelt dasselbe, wie die übrigen Eiweißstoffe, in Pepton.

Rohe Eier, welche man häufig als besonders leichtverdauliche Nahrung rühmen hört, sind das keineswegs. Das ungeronnene Hühnereiweiß widersteht der verändernden, verdauenden Wirkung des Magensaftes sogar länger als festgeronnenes. Der Magensaft kann in das ungeronnene, auch im Magen einen größeren gallertigen Klumpen bildende Eiweiß nur schwer und langsam eindringen, während ihm das bei dem gut zerkauten und dadurch in kleine Partikelchen mit relativ großer Oberfläche zerfallenen geronnenen Eiweißstoff leichter und rascher gelingt. Auch die Fleischeiweißstoffe werden im allgemeinen durch Erhitzen und Gerinnen leichter verdaulich; ebenso werden die im Fleische enthaltenen bindegewebigen Häute aus leimgebender Substanz durch das Erhitzen, wenigstens zum Teil, in Leim verwandelt, also zur definitiven Verdauung vorbereitet. Die Erhitzung und das Festwerden der Fleischeiweißstoffe dürfen aber einen bestimmten Grad nicht überschreiten; durch zu starkes Auskochen wird das Eiweiß wieder weniger verdaulich.

Die sorgfältige Zubereitung der Speisen durch Hitze macht überhaupt die Nahrungsmittel im allgemeinen leichter verdaulich. Wie die geronnenen Eiweißstoffe, so widersteht auch das Stärkemehl, wenn Hitze auf dasselbe eingewirkt hat, der verdauenden Auflösung

weniger lange. Durch hohe Temperatur wird aus Stärkemehl Stärkegummi, Dextrin, erzeugt, mit anderen Worten, es entsteht durch die Wärme jene Vorstufe der endlichen vollkommenen Verdauung, durch welche das Stärkemehl, wie wir hörten, zuerst in Dextrin und dann in Traubenzucker umgewandelt wird. Ganz analog ist das Verhältnis bei dem leimgebenden Bindegewebe, das eine so wesentliche Rolle unter den Nahrungsbestandteilen, namentlich im Fleische und anderen tierischen, als Nahrungsmittel benutzten Organen, spielt. Die Wärme wandelt dasselbe in Leim um, in die Vorstufe, welche auch bei der Verdauung erreicht werden muß. Es ergibt sich daraus, wie richtig die Anschauung des Altertums war, welche die Verdauung der Speisen als „Kochung" bezeichnete; das Kochen der Nahrung wirkt zum Teil thatsächlich wie die Verdauung.

Aber die günstigen Wirkungen der Zubereitung der Speisen beruhen doch nicht allein auf den chemischen Umwandlungen, welche die Speisen durch die Wärme erfahren. Sehr wesentlich wirkt in dieser Richtung die mit der Zubereitung vielfach verbundene Zerreibung und Verkleinerung der Nahrungsmittel sowie das Durchtränken mit Flüssigkeiten, was den mechanischen Vorgang des Kauens und Einspeichelns zum großen Teil ersetzt oder wenigstens in hohem Maße unterstützt. Geschabt ist das rohe Fleisch weit leichter verdaulich als in größeren Stücken. Vor allem aber wichtig ist diese mechanische Zubereitung bei den Körnerfrüchten. Die Hüllen der Zellen, welche aus Cellulose bestehen, schließen die eigentlich nahrhaften Bestandteile der vegetabilischen Stoffe: Stärkemehl, Eiweißstoffe, Fette, anorganische Salze und andere, in sich ein. Die Körner der Körnerfrüchte bestehen, wie alle Pflanzenteile, aus Pflanzenzellen mit Hüllhäuten aus Cellulose. Nun ist zwar die jugendliche, zarte Cellulose der Gemüse, wie von Möhren, Sellerie, Kohl &c., zum Teil auch in den menschlichen Verdauungssäften löslich; dagegen ist holzige, alte, dicht gewordene Cellulose für den Menschen ganz unverdaulich. Durch die geeignete Zubereitung der Pflanzenstoffe zu Speisen werden aber auch die härteren, unverdaulichen vegetabilischen Zellenhüllen großenteils durch Quellen oder Zerreiben mechanisch zerrissen und der Inhalt der Zellen dadurch den Verdauungssäften zugänglich gemacht. Je feiner das Mehl ist, desto vollständiger sind die Zellenhüllen, welche die eigentlichen vegetabilischen Nahrungsstoffe umschließen, zersprengt, desto verdaulicher wird also das daraus gebackene Brot. Während bei Brot, aus roh gemahlenem Mehl hergestellt, ein beträchtlicher Teil von der als Nahrung aufgenommenen Quantität vollkommen unverdaut für die Ernährungsaufgaben, also nutzlos, bleibt, ist gut gebackenes, lockeres Weißbrot besonders leicht verdaulich und nahrhaft. Hier kommt aber noch ein anderes wichtiges Verhältnis in Frage. Je feiner die Speisen verteilt, gekaut oder zerrieben sind, desto leichter und vollkommener dringen die Verdauungssäfte in dieselben ein, um so rascher können sie aufgelöst werden. Größere, ungekaut verschluckte Stücke auch von sonst leichtverdaulichen Speisen, wie Fleisch, Käse, Wurzelstücke, ganze Linsen &c., verlassen dagegen den Organismus fast oder ganz unverändert. In gut gegangenes, trockenes, poröses Brot saugen sich die Verdauungssäfte, zunächst der Speichel, leicht und reichlich ein, während frisches, feuchtes Brot sich beim Kauen klumpig zusammenballt, wodurch der Eintritt der Verdauungssäfte gehindert wird. Aus unseren bisherigen Betrachtungen über Verdauung in der Mund- und Magenhöhle ergibt sich, daß weder Speichel noch Magensaft eine lösende Einwirkung auf Fett besitzen, die eigentliche Fettverdauung erfolgt lediglich im Dünndarm. Daher können größere, der Nahrung zugemischte Fettmengen die Magenverdauung erschweren, ja hindern. Das Fett bildet einen für die wässerigen Verdauungsflüssigkeiten schwer durchdringlichen Überzug über die Speiseteile.

Individuen, welche an harte oder stark gewürzte Kost gewöhnt sind, vertragen manchmal leichtere Speisen weniger gut, indem die reizloseren Speisen die Verdauungsorgane nicht stark genug erregen und daher auch nicht genügende Absonderung von Verdauungssäften hervorrufen. Aus solchen Beobachtungen ergibt sich der Wert der Gewürze sowie aller stärker schmeckenden

Nährstoffe für eine normale Verdauung. Alle Nerven stumpfen sich gegen oftmals auf sie einwirkende Reize nach und nach ab, dann bringt der gleichstarke Reiz eine immer schwächer und schwächer werdende Erregung hervor. Genießen wir längere Zeit hindurch dieselben Speisen ohne Abwechselung, so werden endlich unsere Verdauungsnerven nicht mehr in dem erforderlichen Grade erregt, um die normale Höhe ihrer physiologischen Thätigkeit zu erreichen, die Verdauung leidet dadurch.

Der Magen des Europäers höherer Stände unterscheidet sich hierin, indem er eine andere Reizung verlangt, von dem der Landbewohner und noch mehr von dem der „Wilden". So erklären sich die Mitteilungen, daß Europäer sich mit einer Nahrung nicht zu ernähren vermochten, bei der sich die „Wilden" ihrer Umgebung vollkommen wohl befanden.

Der Dünndarm als Zentrum der chemischen Verdauungsthätigkeit.

Jene Teile der aufgenommenen Nahrungsbestandteile, welche in der Mundhöhle und im Magen schon eine chemische Verdauung erfahren haben, ein Teil des Stärkemehles, der Eiweißstoffe, des Leimes und leimgebenden Gewebes, werden nach ihrer Umwandlung in lösliche Produkte: Zucker und Peptone, zum Teil sofort in die Säftemasse des Organismus übergeführt. Dasselbe gilt, wie wir bereits einleitend erwähnt haben, für diejenigen Nährstoffe, welche zur Aufsaugung keiner Verdauungsumwandlung bedürfen, welche entweder schon in Form wahrer Lösungen genossen werden, oder sich in den wässerigen Säften der beiden ersten Verdauungshöhlen auflösen, wie Zucker, viele Salze und anderes.

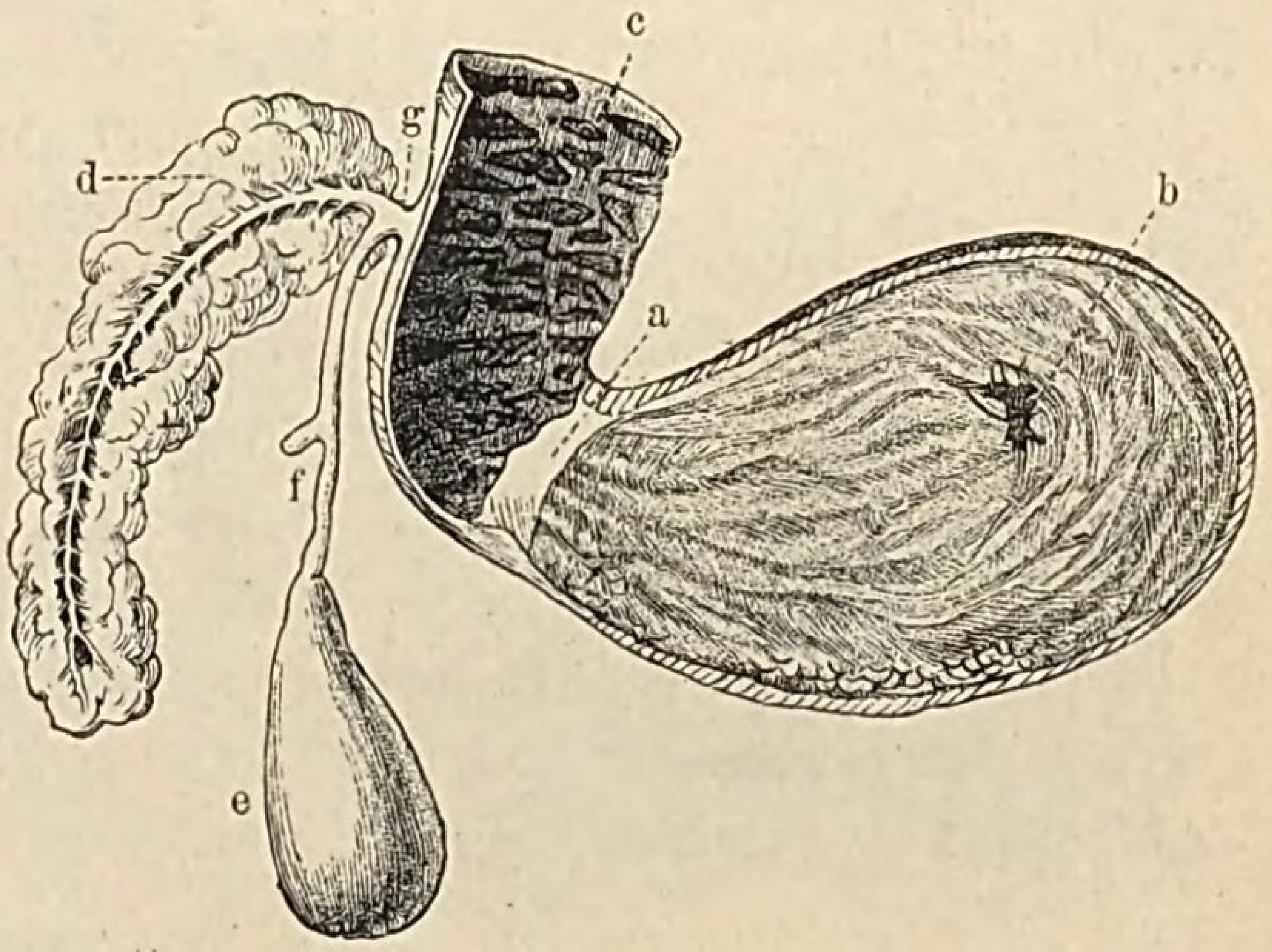
Aber der weit größere Teil der in den Magen gelangten Nährbestandteile kommt, wie wir hörten, nach kürzerer oder längerer Zeit als stark saurer Speisebrei infolge rhythmischer Magenbewegungen durch den Pförtner stoßweise in kleinen Partien in den Dünndarm, um in diesem erst die vollständige Verdauung zu erfahren, für welche schließlich der Dickdarm nur noch als ein vergleichsweise geringerwertiges Hilfsorgan thätig wird. Teilweise sind die chemischen Verdauungseinflüsse im Dünndarm ganz ähnlicher Art und betreffen die gleichen Stoffe wie in Mundhöhle und Magen. Das Stärkemehl und die Eiweißstoffe mit dem Leim und leimgebenden Gewebe werden noch, möglichst vollständig gelöst und auffaugungsfähig gemacht, in Zucker und Peptone umgewandelt. Aber in ganz abweichender Weise findet im Darme auch das Fett die Bedingungen seiner teilweisen Lösung und seiner Mischung mit den Körpersäften, auf welcher die Möglichkeit seiner Aufnahme in das Blut beruht.

Drei verschiedene Verdauungssäfte, alle drei von alkalischer Reaktion, durch deren Zumischung der aus dem Magen als eine stark saure Masse austretende Speisebrei rasch von außen nach innen fortschreitend alkalisch reagierend gemacht wird, beteiligen sich an der Verdauung im Darmkanal. Die Schleimhaut des Verdauungsrohres sondert im Vergleich mit den großen Quantitäten, in welchen die übrigen Verdauungssäfte in den Dünndarm ergossen werden, eine geringe Menge eines normal schleimigen Saftes, den Darmsaft oder Darmschleim, ab. Zu diesem Behufe ist in ganz ähnlicher Weise wie im Magen die gesamte Darmschleimhaut mit außerordentlich zahlreichen schlauchförmigen, kleinen Drüsen durchsetzt. Sie sind mit cylindrischen Zellen austapeziert, und die gleichen Zellenformen überkleiden auch die gesamte innere Oberfläche der Darmschleimhaut. Wir werden in der Folge diese Cylinderzellen der Magen- und Darmschleimhaut als wesentliche Hilfsorgane für die Aufnahme der verdauten Nahrungsbestandteile in die Säftemasse des Organismus, speziell in die Darmlymphe oder den Chylus, kennen lernen. Dazu

kommt im Anfangsteil des Dünndarmes noch eine Anzahl kleiner, traubenförmiger Drüsen, welche in Bau und physiologischem Vermögen sich an die Speicheldrüsen, speziell an die große Bauchspeicheldrüse, anreihen und nach ihrem Entdecker Brunnersche Drüsen genannt werden.

Außerdem ergießen in den Zwölffingerdarm, nahe dem Pförtner des Magens und zwar an einer und derselben Stelle (s. untenstehende Abbildung), die beiden größten Drüsen unseres Körpers, die Leber und die Bauchspeicheldrüse, ihre Absonderungsflüssigkeiten, die Leber die Galle, die Bauchspeicheldrüse oder Pankreas den Bauchspeichel oder Pankreassaft. Diese drei Verdauungssäfte mischen sich dem aus dem Magen kommenden Speisebrei zu und vollenden in ihm die Verdauungsveränderungen. Der Darm beendigt die physiologische Arbeit, welche Mundhöhle und Magen begonnen haben, und zwar fällt die Hauptleistung des Verdauungsgeschäftes auf den Dünndarm, so daß wir diesen, wie schon mehrfach hervorgehoben, als das Hauptorgan der Verdauung betrachten müssen.

Die innere Darmoberfläche erhebt sich, wie oben bemerkt, in äußerst zahlreiche feine Fältchen und Zöttchen, die Darmzotten, welche der Darmschleimhaut ein gewissermaßen samtartiges Aussehen verleihen. Rings um die einzelnen Darmzotten, welche für die Aufsaugung der aus der Verdauung hervorgegangenen Nährflüssigkeit eine sehr wichtige Rolle spielen, öffnen sich die Drüsenschläuche der Darmschleimdrüsen, umsponnen von einem reichlichen Maschennetze von Blutgefäßen. Ein feines Netzwerk aus dem Sympathikus stammender Nervenfasern, unterbrochen von verästelten Nervenzellen, hat man im Darme selbst nachgewiesen. Auch noch eine dritte Drüsengattung haben wir im Darme zu erwähnen, es sind das kleinste und größere Lymphdrüsen, welche von ihrer bläschenförmigen Gestalt den Namen Follikel erhalten haben. Sie beteiligen sich nicht an der Absonderung des Darmschleimes. Wir werden ihre physiologische Aufgabe in einer Beeinflussung der Flüssigkeiten finden, welche aus dem Darme in die Anfänge der Lymphgefäße eintreten, welch letztere, in großer Anzahl in allen Darmschichten vorhanden, in diese Lymphdrüsen einmünden und dieselben durchsetzen.



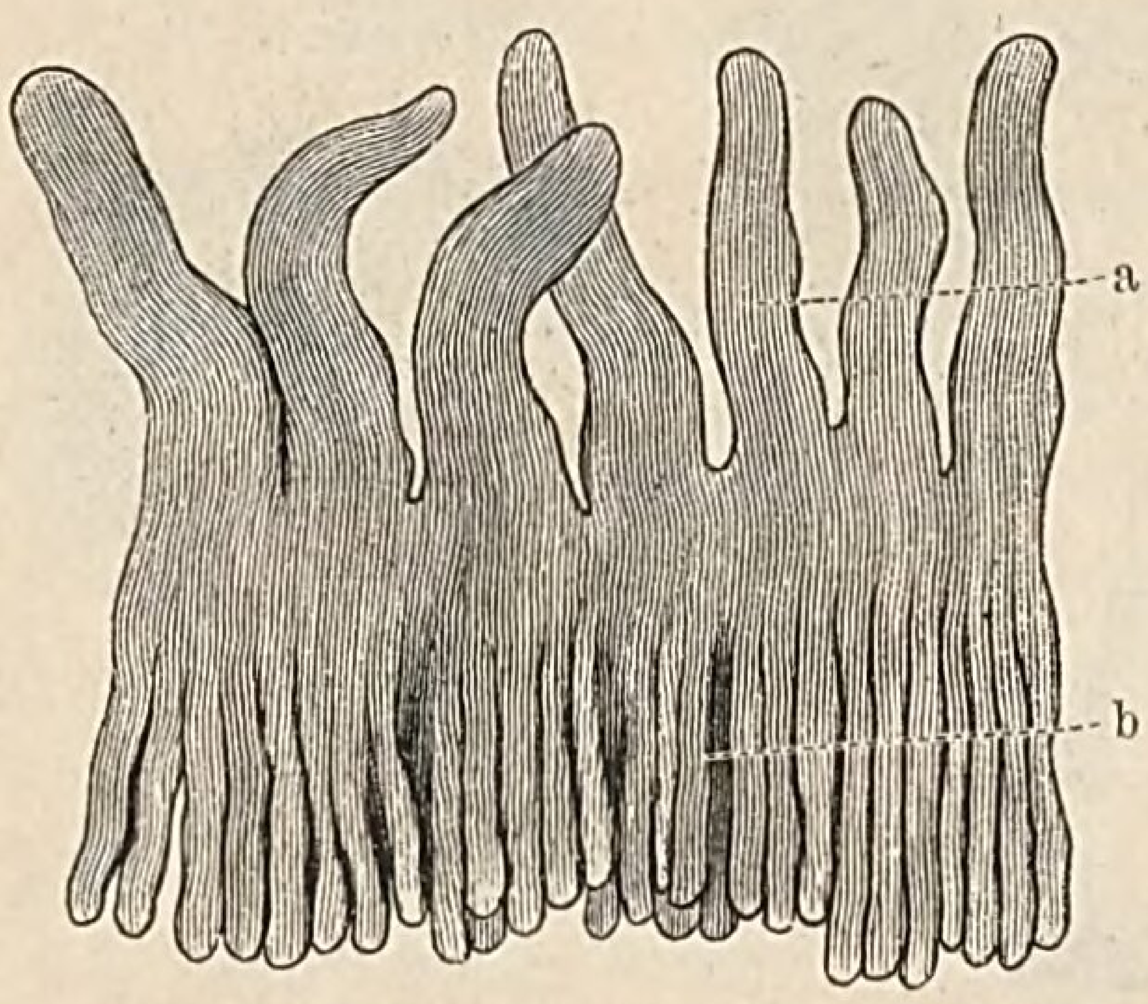
Magen und Zwölffingerdarm.
a) Pförtner des Magens, b) Magenmund, c) Anfangsteil des Dünndarmes (Zwölffingerdarm), d) Bauchspeicheldrüse, e) Gallenblase, f) Ausführungsgang der Leber, welcher mit der Bauchspeicheldrüse bei g gemeinsam in den Zwölffingerdarm einmündet.

Obwohl die Menge des abgesonderten Darmschleimes beim Menschen nur eine sehr geringe ist, scheint doch seine vielseitige physiologische Leistungsfähigkeit ihn zu einem keineswegs unbedeutenden Faktor der Verdauung zu machen. Auch der Dickdarm sondert Darmsaft ab, und unter krankhaften Verhältnissen, wenn die Thätigkeit des Magens und Dünndarmes unterbrochen ist, vermag noch der Dickdarm für diese Hauptverdauungsorgane als teilweiser Ersatz einzutreten. Davon macht bekanntlich die ärztliche Praxis in verzweifelten Fällen, wenn die Ernährung durch Mund und Magen unmöglich ist, durch sogenannte ernährende Klystiere Gebrauch, bei welchen nach der wichtigen Entdeckung von Leube und Rosenthal die Darmsaftwirkung durch miteingeführte Verdauungsfermente (Pankreatin) noch gesteigert werden kann.

Der Dünndarmsaft wirkt nach den verschiedenen Angaben der Forscher bei alkalischer Reaktion verdauend wenn nicht auf alle, doch auf gewisse Eiweißstoffe, aus denen er ohne Mitwirkung von Säure wahre Peptone bildet; er verwandelt Rohrzucker in Traubenzucker und führt

Stärkemehl in Traubenzucker über; außerdem besitzt er noch die Eigenschaft, Fette in sehr feine, staubförmige Tröpfchen mechanisch zu verteilen und sie dadurch für die Aufsaugung vorzubereiten. Auch in der Schleimhaut des Dickdarmes hat man ein zuckerbildendes sowie ein peptonbildendes Ferment nachgewiesen. Immerhin haben wir anzuerkennen, daß über den Darmsaft und seine physiologischen Wirkungen die Untersuchungsakten bis jetzt noch nicht geschlossen sind.

Um so besser bekannt sind die physiologischen Leistungen, welche die in den Dünndarm sich ergießende Absonderungsflüssigkeit des Pankreas, der Bauchspeichel, hervorruft. Die Pankreasdrüse ähnelt in ihrem anatomischen Bau einigermaßen den Speicheldrüsen der Mundhöhle. Sie erscheint als eine große, langgestreckte, traubenförmige Drüse (S. 285). Sie liegt quer hinter der Hinterwand des Magens, mit ihrem dickeren Abschnitte, dem Kopfe, gegen die mit ihrer Konvexität nach der rechten Körperseite gewendete halbkreisförmige Schlinge des Zwölffingerdarmes, mit ihrem schmäleren Ende, dem Schwanze, nach links, gegen die Milz, gerichtet. Sie wird im Inneren ihrer ganzen Länge nach, von ihrem Schwanzende bis zu ihrem Kopfe, von einem Hauptausführungsgang durchzogen, in welchen seitlich zahlreiche feinere Drüsengänge in ziemlich gleichmäßigem Abstande einmünden. Die letzteren verästeln sich nach dem Schema einer Traube und tragen am Ende die eigentlichen Drüsenbläschen, die auf Nervenreiz den Bauchspeichel absondern.



Dünndarmschleimhaut, vergrößert.
a) Darmzotten, b) schlauchförmige Darmdrüsen.

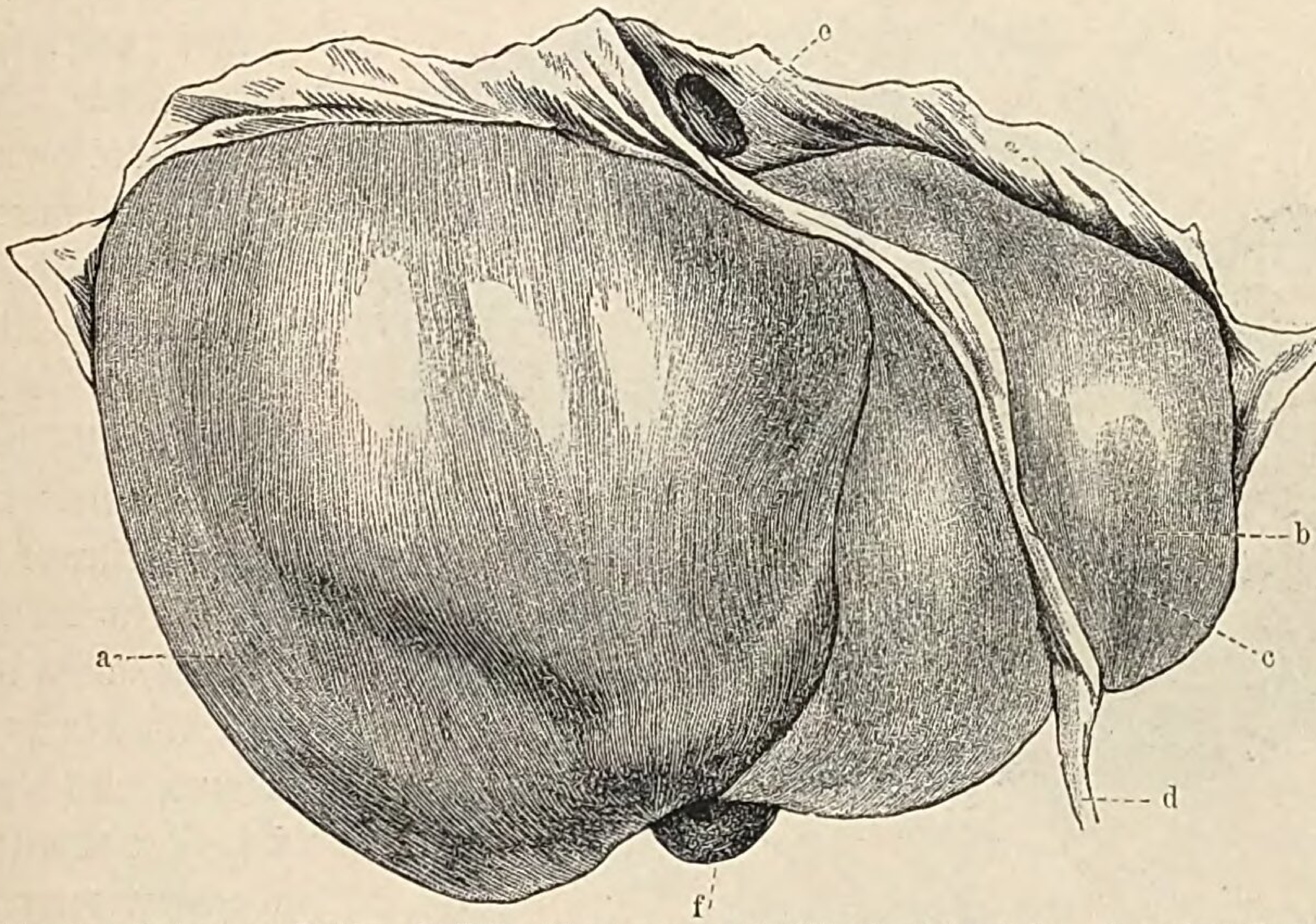
Unter normalen Lebensverhältnissen ist die Bauchspeicheldrüse nur während der Verdauungsperiode für die Absonderung thätig. Dann sondert sie ihre klare, farblose, alkalische, sehr klebrige Flüssigkeit ab, welche weit mehr feste Stoffe (zwischen 10—12 Prozent) enthält als die übrigen Verdauungssäfte. Etwa ein Zehntel der festen Stoffe des Bauchspeichels sind unverbrennliche anorganische Salze, welche denen des Blutserums sehr ähnlich sind; unter den organischen Bestandteilen findet sich reichlich Eiweiß.

Die Leistungen des Pankreassekrets stempeln das Pankreas zu einem Universalverdauungsorgan; was die einzelnen Verdauungsflüssigkeiten einzeln leisten, kombiniert das Pankreassekret zu einer Gesamtleistung. Wie der Mundspeichel, so besitzt und zwar in noch höherem Grade der Bauchspeichel die Fähigkeit, das Stärkemehl, und zwar auch das rohe, ungekochte, durch die Zwischenstufe des Dextrins rasch in Zucker umzuwandeln; der Bauchspeichel löst die Eiweißkörper, das leimgebende Gewebe und den Leim ohne Beihilfe einer freien Säure, welche das Magenferment zu der gleichen Leistung bedarf, und verwandelt sie in alkalische Flüssigkeiten, in Peptone. Es bereitet aber der Bauchspeichel auch das Fett der aufgenommenen Nahrung zur Aufsaugung vor und vermittelt teilweise die Möglichkeit der letzteren direkt.

Wie bei Mundspeichel und Magensaft, so beruht auch bei dem Bauchspeichel die Möglichkeit seiner physiologischen Leistungen auf der Anwesenheit von Verdauungsfermenten. Es ist gelungen, zwei verschiedene Fermente der Bauchspeicheldrüse chemisch zu isolieren: ein zuckerbildendes Ferment, welches in seinem physiologisch-chemischen Verhalten dem Ptyalin des Mundspeichels, der Speicheldiastase und mit dieser der Malzdiastase entspricht, und ein peptonbildendes Ferment. Man hat dem letzteren einen eigenen Namen, Pankreatin oder Trypsin, beigelegt zum Unterschied von dem peptonbildenden Ferment der Magenschleimhaut, dem Pepsin, da sich beide Fermente, wie wir schon angedeutet, trotz der Gleichheit ihrer schließlichen Wirkungen doch nicht vollkommen entsprechen. Das Pepsin, welches mit dem Mageninhalt in den Dünndarm gelangt, wird dort

durch die Galle niedergeschlagen und seine Wirkung dadurch aufgehoben. Wir werden erst anschließend an die Funktionen der Galle von der Beteiligung des Pankreassaftes an der Fettverdauung handeln, aber schon aus dem bisher Mitgeteilten ergibt sich die ausschlaggebende Bedeutung des Pankreas bei dem gesamten Verdauungsvorgang.

Gemeinschaftlich mit der Pankreasdrüse ergießt die Leber, die 2—3 kg schwere, größte Drüse des menschlichen Organismus, ihre Absonderungsflüssigkeit, ihr Sekret, die Galle, in den Dünndarm. Während bei den bisher besprochenen Drüsen die Absonderung der Verdauungssäfte wenn auch nicht als die einzige, so doch als die bei weitem wichtigste Thätigkeit erscheint, hinter welche etwaige andere Einflüsse auf die Blutbildung und das Gesamtleben zurücktreten, so gilt das von der Absonderungsthätigkeit der Leber keineswegs. Die Ausscheidung der Galle

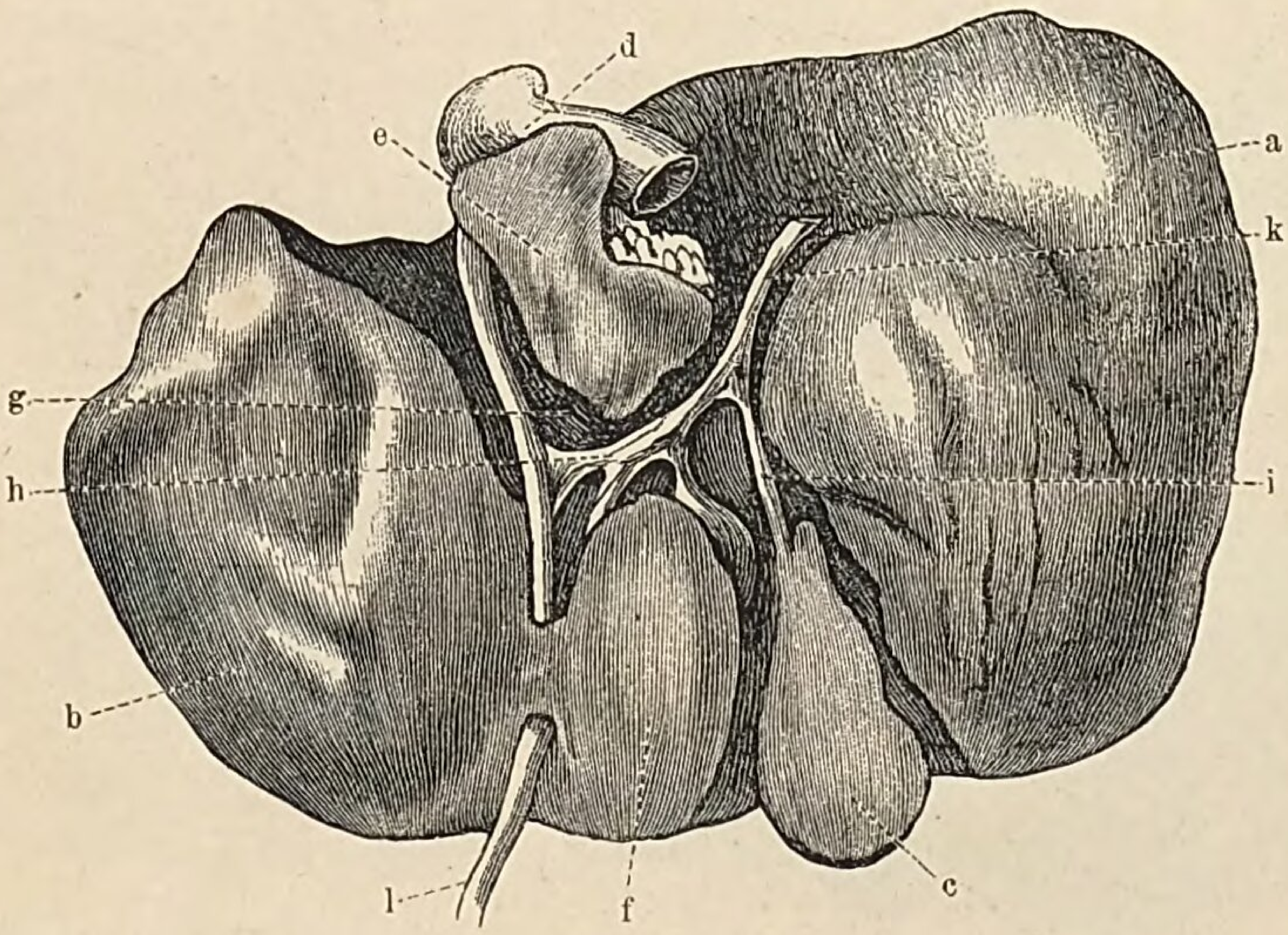


Obere Fläche der Leber. a) Rechter, b) linker Leberlappen, c) Aufhängeband der Leber, d) rundes Band, e) Durchschnitt durch die Vena cava, f) Gallenblase.

in den Darm hat zwar eine hohe physiologische Bedeutung, namentlich für die Aufnahme des Fettes der Nahrung; aber mit dieser Leistung ist die Aufgabe der Leber im Haushalte des Organismus noch nicht erschöpft. Es spricht die Wahrscheinlichkeit dafür, daß sich die Leber an der Bildung der wichtigsten Elemente des Blutes, der roten Blutkörperchen, nicht nur im ersten Entwickelungsstadium des Organismus, sondern auch bei dem erwachsenen Menschen mit beteiligt, während anderseits in ihr wohl zweifellos auch rote Blutkörperchen unter Pigmentbildung zu Grunde gehen. Wir beobachten außerdem in den Drüsenzellen der Leber, den Leberzellen (s. Abbildung, S. 290), neben der ihnen obliegenden Gallebildung auch noch einen eigentümlichen Stoffvorgang, welcher sich in gewissem Sinne an die Verdauungsprozesse anreiht. Die Leberzellen bilden nicht nur aus Kohlehydraten und wohl auch aus Fett, sondern wahrscheinlich oder fast sicher auch aus Eiweißsubstanzen durch einen eigentümlichen chemischen Spaltungsvorgang einen stärkemehlähnlichen Stoff, Glykogen, welcher, in Zucker umgewandelt, aus der Leber dem Blute zurückgegeben wird, aus welchem seine Bildungssubstanzen stammten.

Die Lage der Leber, des größten und schwersten Eingeweides, von rotbrauner Farbe und derbem Gefüge, ist uns aus der Bauübersicht des Menschenkörpers bekannt. Die obenstehende Abbildung lehrt uns ihre im allgemeinen länglich-viereckige Gestalt kennen mit der oberen, an die Unterfläche des Zwerchfelles sich anschmiegenden gewölbten und der unteren, mehr ebenen Fläche;

wir erkennen ihren hinteren stumpfen und vorderen scharfen Rand und ihre allmähliche Verdünnung gegen den linken Rand zu, welcher mit einem fast zugespitzten Ende vor dem Magenmund liegt. An der oberen Fläche der Leber bezeichnet das weißliche, bindegewebige Aufhängeband der Leber, welches mit dem „runden“, vom Nabel zur Leber ziehenden Bande die Leber an der Unterfläche des Zwerchfelles und der inneren Bauchwand befestigt, die Grenze zwischen dem rechten größeren und dickeren und dem linken kleineren und dünneren Leberlappen. Die untere und nach hinten gewendete Leberfläche (s. untenstehende Abbildung) zerfällt durch drei sich wie die Linien eines **H** durchschneidende Furchen in vier Abteilungen oder Lappen. Nach außen von den beiden seitlichen Furchen liegt je der rechte und der linke Leberlappen; vor der Querfurche, welche die beiden Seitenfurchen verbindet, liegt zwischen den beiden Längsfurchen der „viereckige“, hinter der Querfurche der „Spiegelsche“ Leberlappen. In der rechten Längsfurche und zwar in ihrem vorderen Abschnitt befindet sich die birnförmig gestaltete Gallenblase. Als Leberpforte wird die Aus- und Eintrittsstelle der Gefäße und Nerven der Leber in der Querfurche bezeichnet; der hier in die Leber eintretende, etwa kleinfingerdicke, aber kurze Blutaderstamm wird danach als Pfortader benannt. Mit der Pfortader tritt an der Leberpforte auch die Leberschlagader in die Leber ein, begleitet von dem Lebernervengeflecht. Neben diesen lebenswichtigen Organen sehen wir an der Leberpforte den Lebergallengang austreten als einen kaum federkieldicken Hohlkanal. Er setzt sich als etwas weiterer, gemeinschaftlicher Gallengang (Ductus choledochus) bis zur gemeinschaftlichen Einmündungsstelle mit der Bauchspeicheldrüse in den Zwölffingerdarm fort, sendet aber vorher einen Ast, den Gallenblasengang, zur Verbindung mit der Gallenblase. Die aus der Leber abströmende Galle kann also entweder aus der Leber durch den gemeinschaftlichen Gallengang direkt in den Zwölffingerdarm gelangen oder, während der Pause zwischen zwei Verdauungsperioden, in die als zeitweiliges Reservoir dienende Gallenblase. Nur die „eigentlichen Lebervenen“ verlassen die Leber nicht in der Pforte.

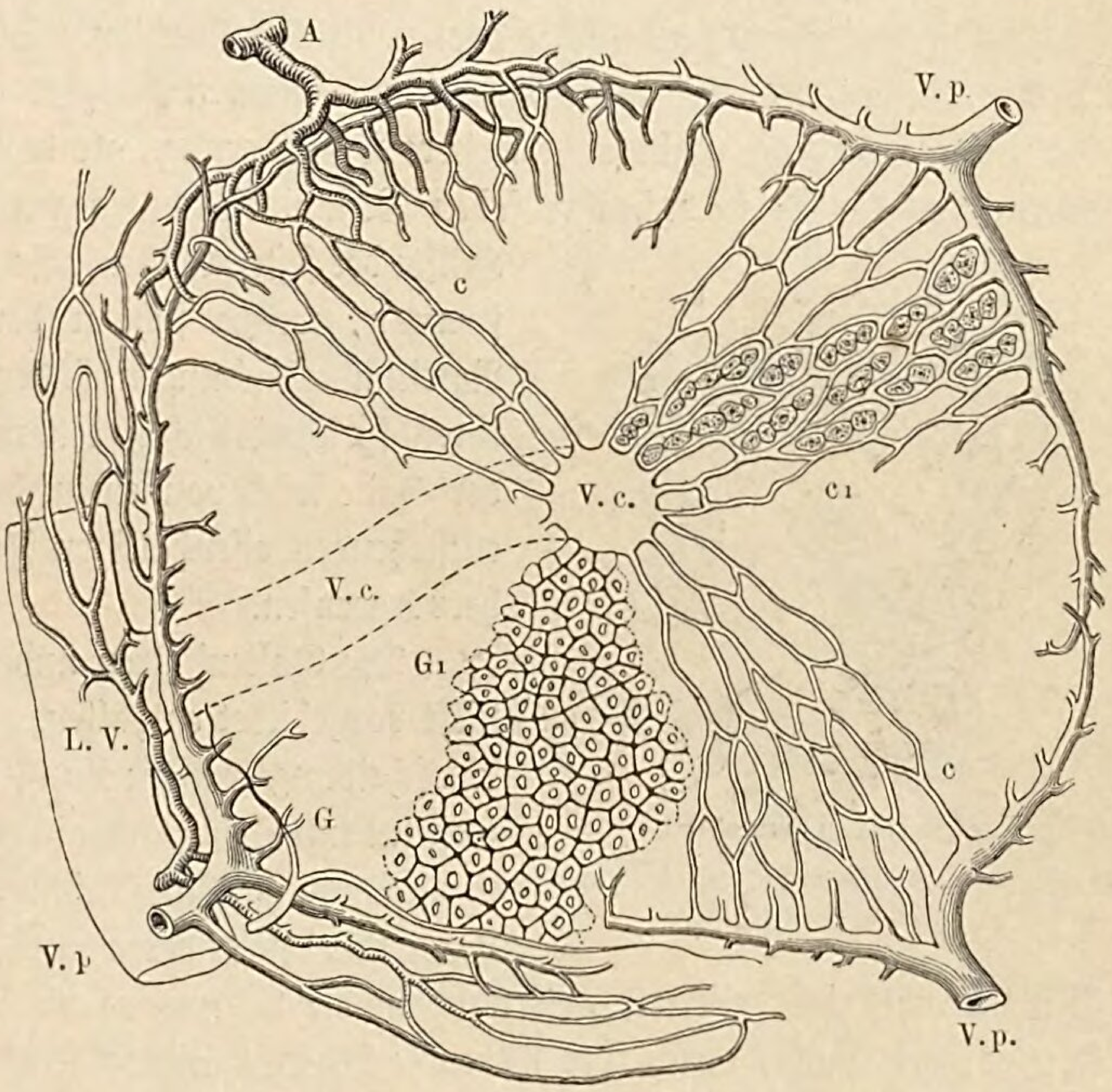


Untere Fläche der Leber.

a) Rechter, b) linker Leberlappen, c) Gallenblase, d) Vena cava, e) Spiegels Leberlappen, f) viereckiger Leberlappen, g) Leberpforte, h) Lebergallengang, i) Gallenblasengang, k) gemeinschaftlicher Gallengang, l) Ligamentum teres.

In ihrem feineren anatomischen Bau erinnert auch die Leber bis zu einem gewissen Grade an das Schema der traubenförmigen Drüsen. Ein gemeinsamer Hauptausführungsgang, der Lebergallengang, verästelt sich, wie bei den traubenförmigen Drüsen, auch in der Lebersubstanz. In die aus der Teilung seiner Äste hervorragenden feinsten Ästchen des Ausführungskanals ergießen die absondernden Zellen die in ihnen gebildete Flüssigkeit, die Galle. Doch erscheinen die Leberzellen nicht in vollkommen regelmäßige Drüsenbläschen mit eigener, deutlich erkennbarer Wandung eingeschlossen, wie wir das bei den bisher besprochenen traubenförmigen Drüsen fanden.

Sehr bemerkenswert gestaltet sich die Art der Blutversorgung in der Leber. Wie jedes Körperorgan, erhält auch die Leber ihr arterielles Blut aus der großen gemeinschaftlichen Körperschlagader, der Aorta, durch eine eigene Leberarterie. Die letztere löst sich in der Lebersubstanz in ein zartes, engmaschiges Haargefäßnetz auf, aus welchem sich, den Verhältnissen in den übrigen Körperorganen entsprechend, das venös gewordene Blut in die Stämme und Stämmchen der „eigentlichen Lebervenen" sammelt, welche sich teils durch zahlreiche kleinere, teils durch zwei oder drei stärkere Stämme in die untere Hohlvene ergießen. Aber außer dem arteriellen Blut strömt durch ein weites Blutgefäß, welches wir schon unter dem Namen der Pfortader kennen gelernt haben, auch eine bedeutende Menge von Venenblut in die Leber ein, welches dort gewisse Umwandlungen erleidet und hauptsächlich das Material zur Bildung des Glykogens und der Galle liefert. Die Blutversorgung der Leber entspricht also in hohem Grade der, welche wir bei der Lunge kennen gelernt haben. In die Lunge sendet die Aorta eigene arterielle Zweige zur Ernährung des Lungengewebes ab, außerdem aber wird der Lunge noch durch die Lungenschlagader, die Arteria pulmonalis, das blaurote venöse Blut des rechten Herzens zugeleitet, um in den Lungenkapillaren jene lebensnötige chemische Umwandlung zu erleiden, durch welche es zu arteriellem hellroten, sauerstoffreichen Blute wird. Die Pfortader der Leber entsteht aus der Vereinigung der aus den Verdauungsorganen (der Milz, dem Pankreas und dem Darmkanal) hervortretenden Blutkapillaren, welche, nachdem sie eine Anzahl von Venenstämmchen gebildet haben, zu dem dicken Stamm der Pfortader verschmelzen. Die Pfortader tritt nach kurzem Verlauf in die Leber ein, zerfällt hier aber selbst, wie eine Arterie, in Zweige, welche sich zum zweitenmal in Haargefäße auflösen. Diese Haargefäße der Pfortader verbinden sich in der Leber zu einem gemeinsamen Haargefäßnetz mit den aus der Leberarterie hervorgegangenen Haargefäßverzweigungen. Das Blut, welches, aus diesen Haargefäßen sich sammelnd, aus der Leber durch die Lebervenen abgeführt wird, stammt sonach aus zwei Quellen, aus der Leberarterie und der venöses Blut führenden Pfortader. Das Pfortaderblut passiert sonach, ehe es zur Lunge gelangt, zwei Haargefäßsysteme: das Schlagaderblut der Verdauungsorgane strömt zunächst in diesen Organen in ein Haargefäßnetz ein; aus diesem Kapillargefäßsystem der Verdauungsorgane bilden sich die größeren Venen, welche sich zum Stamm der Pfortader vereinigen, um sich in der Leber noch ein zweites Mal kapillar zu verästeln und dann erst zu den das Blut dem Herzen zuführenden „eigentlichen Lebervenen" wieder zusammenzufließen.



Bestandteile eines Leberläppchens, vergrößert.

A) Ästchen der Leberarterie, V. p.) Ästchen der Pfortader, V. c.) Zentralvene, Ästchen der eigentlichen Lebervenen L. V., c) Blutkapillaren, bei c_1 und G_1) Leberzellen einschließend, G) Feiner Gallengang, G_1) Gallengangkapillaren zwischen Leberzellen.

Die feinen Zweige der Pfortader, der Leberarterie, der Lebervenen und des Lebergallenganges sind in der Lebersubstanz vollkommen regelmäßig durcheinander geschoben. Indem sich in gleichen Abständen in der Lebersubstanz die gleiche Anordnung der Zweige dieser verschiedenen Gefäße wiederholt, werden kleine, etwa 2 mm im Durchmesser betragende kugelige Inselchen der Lebersubstanz, **Leberläppchen** (s. Abbildung, S. 289), abgegrenzt.

Die Menge der stetig abgesonderten **Galle** ist eine ziemlich beträchtliche: in 24 Stunden beträgt bei dem Menschen, wie der Verfasser durch eine zufällig entstandene Gallenfistel direkt bestimmen konnte, die Absonderung zwischen 400 und 1000 g dünnflüssiger Galle, welche zum größten Teil in den Dünndarm entleert wird.

Die Galle ist, so wie sie der Leber entströmt, eine bräunlichgrüne, intensiv bitter schmeckende Flüssigkeit von schwach alkalischer oder neutraler Reaktion. Sie besteht der Hauptsache nach aus Wasser, in welchem bei der Menschengalle etwa 3 Prozent fester Stoffe gelöst sind. In der Gallenblase wird die Galle ohne weitere Veränderung, als daß ihr Schleim zugemischt wird, bedeutend eingedickt, so daß ihre festen Bestandteile bis gegen 14 Prozent ansteigen. Über die Hälfte der festen Gallenstoffe bilden die merkwürdigen **Gallensäuren**, welche sich in der Menschengalle vorwiegend als Natriumverbindungen finden. Sie sind es, welche der Galle ihren sprichwörtlichen bitteren Geschmack erteilen. Die Farbe der Galle wird von einem besonderen, aus dem Blutfarbstoff entstehenden eisenhaltigen Farbstoff, dem **Gallenfarbstoff**, hervorgerufen.



Leberzellen, vergrößert.
a) Normale, b) übermäßig mit Fett angefüllte (Fettleber).

Die Gallensäuren und der Gallenfarbstoff sind im Blute nicht vorgebildet enthalten. Im Gegensatz zu den eigentlichen Ausscheidungsdrüsen: Lungen, Schweißdrüsen, Nieren, welche im Blut enthaltene, aus anderen Organen in dasselbe aufgenommene Stoffe zur Ausscheidung aus dem Blute bringen, wird der Leber wie den anderen Verdauungsdrüsen von dem Blute nur Bildungsmaterial geliefert, aus welchem die Leberzellen die spezifischen Bestandteile des Lebersekretes, der Galle, durch ihre chemische Lebensthätigkeit selbst erst herstellen. In den Drüsenzellen der Leber lassen sich alle Gallenbestandteile neben dem oben besprochenen Glykogen chemisch nachweisen. Die physiologische Bedeutung der Galle beruht im wesentlichen auf der durch sie im Verein mit den übrigen im Darm thätigen Verdauungssäften vermittelten **Fettaufnahme** aus dem Darm in die Säftemasse.

Wie durchdringt das durch die Körperwärme verflüssigte Fett der Nahrung die mit Wasser getränkten Gewebe des Darmes, mit denen es sich ohne weiteres ebensowenig mischt, wie ein Öltropfen in ein mit Wasser angesaugtes Papier eindringt?

Bei Tieren, die in der Verdauungsperiode geschlachtet wurden, namentlich deutlich bei noch saugenden Kälbern, findet sich das Fett im Darminhalt in feinster, staubartiger Verteilung, noch feiner verteilt als das Fett in der Milch. Das Mikroskop lehrt, daß das Fett in dieser feinen Verteilung in die Gewebsporen der Darmschleimhaut ein- und durch diese hindurchdringt. Die drei Verdauungssäfte des Darmes besitzen in hohem Grade, in geringerem Grade auch Speichel und Magensaft, die Fähigkeit, unter Mitwirkung von Bewegungen, z. B. der Darmbewegungen, das in der Körperwärme verflüssigte Fett so fein staubförmig zu verteilen, daß die Fettstäubchen in die Porenräume der Darmgewebe eindringen können. Seifenlösungen haben bekanntlich die von uns täglich bei jedem Waschen der Hände praktisch benutzte Eigenschaft, sich sowohl mit Fett als mit Wasser zu mischen. Auch die Zumischung von Galle gibt wässerigen Flüssigkeiten das

gleiche Vermögen. Bei der Pankreaseinwirkung auf die Fette werden, wenn auch in geringer Menge, unter Mitwirkung der Alkalien der Galle wahre Fettseifen gebildet. Indem sich in den Verdauungsflüssigkeiten die gebildeten Seifen auflösen, erteilen sie ersteren die Fähigkeit, sich wie Seifenwasser mit Fett zu mischen. Die Gewebsporen und Porenräume, welche das Fett auf seinem Wege aus dem Darm in die Säftemasse des Körpers durchsetzen muß, füllen sich mit den Seifenlösungen an, und das Fett findet nun bei seinem Eintritt einen geringeren Widerstand. In ganz entsprechendem Sinne wie die Seifenlösungen wirkt die Galle; auch sie bahnt, indem sie in die Porenkanäle der Darmgewebe eindringt, dem Fett den Weg. So viel steht fest, daß ein krankhaftes Wegfallen der Wirkung der Galle und des Pankreassekretes auf die Fettaufnahme bei Menschen und Tieren sehr auffällige Folgen hervorruft. Wird, wie bei der Gelbsucht, durch einen zeitweiligen Verschluß des Gallenausführungsganges in den Darm keine Galle und kein Pankreassekret in diesen ergossen, so hört auch die Fettaufnahme aus der Nahrung nahezu vollkommen auf.

Mit den in den Verdauungsorganen verflüssigten Nährstoffen werden auch die Verdauungssäfte zum größten Teil selbst wieder in die allgemeine Säftemasse aufgenommen. Nur zum Teil verlassen sie und dann meist in chemisch verändertem Zustande mit dem unverdauten und unverdaulichen Rest der Nahrung den Organismus. Die Galle hat hierbei noch eine wichtige Nebenwirkung, sie hindert eine faulige Zersetzung der im Darmkanal befindlichen, durch sie gelbbraun gefärbten, leicht faulenden Substanzen.

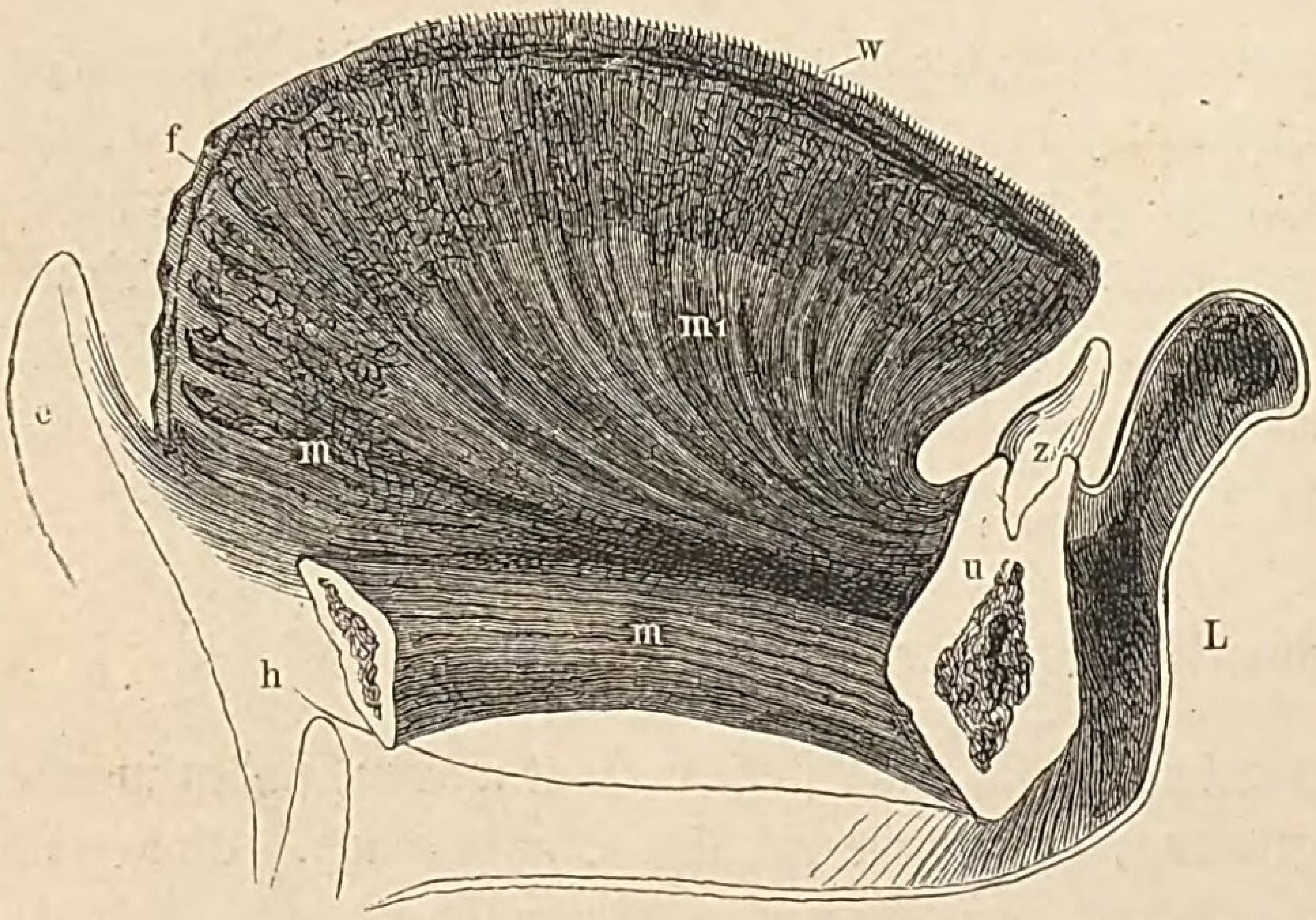
Mechanik der Verdauung.

Die chemischen Vorgänge, durch welche die Nahrungsstoffe verdaut werden, finden in einer Reihe *mechanischer* Prozesse Unterstützung, ja teilweise erst ihre Ermöglichung. Eine zweite Reihe mechanischer Prozesse steht dem Endzweck aller Verdauung vor, welcher darin gipfelt, die Nahrungsstoffe aus dem Darmkanal in die Säftemasse des Organismus überzuführen. Die ältere Wissenschaft hatte, ehe sie sich volle Rechenschaft zu geben vermochte von den im Organismus sich möglicherweise entfaltenden mechanischen Kraftwirkungen, den mechanischen Einfluß auf die Lösung der Speisen, namentlich im Magen und Darmkanal, weit überschätzt. Man glaubte, daß die Magenwände des Menschen zerreibend auf die in den Magen gelangten Speisen einwirken könnten. In dem Muskelmagen körnerfressender Vögel, dessen halbkugelige Hälften ähnlich wie zwei Mühlsteine sich gegeneinander bewegen, ist dazu die physiologische Einrichtung gegeben; eine solche *fehlt aber dem dünnwandigen Magen des Menschen* so gut wie vollkommen.

Wir ergreifen durch willkürliche Akte unsere Nahrung; diese wird in der Mundhöhle von den Zähnen zerkleinert und zerrieben, endlich, überzogen und gemischt mit Speichel und Mundschleim, durch den willkürlich thätigen Muskelapparat des weichen Gaumens und Schlundes in die Speiseröhre geschluckt und durch diese vermittelst ihrer von oben nach unten fortschreitenden wurmförmigen Zusammenziehungen in den Magen hinabgedrückt. Die unwillkürlichen wurmförmigen, peristaltischen, Bewegungen des verdauenden Magens lassen, solange der Pförtner und der Magenmund geschlossen, abwechselungsweise verschiedene Partien der aufgenommenen Nahrung an den Mündungen der den Magensaft absondernden Drüsen hingleiten und befördern so durch direkte Reibung und Reizung die Drüsenabsonderung und die innige gleichmäßige Mischung des Mageninhaltes mit den vom Magen abgesonderten Flüssigkeiten. Wenn eine innige Mischung erfolgt, wenn Zeit gegeben war für energisch verdauende Wirkungen, wenn aus der in den Magen gelangten Nahrung Speisebrei geworden ist, öffnet sich der Muskelverschluß des Pförtners, und in

rhythmischen Stößen wird der Speisebrei dem Zwölffingerdarm übergeben, aus welchem er, gemischt und noch weiter verdünnt mit den dort zufließenden Säften des Pankreas und der Leber, umhüllt mit einer Schicht ebenfalls verdauend wirkenden Darmschleimes, durch wurmförmige, peristaltische, Zusammenziehungen der Darmwandungen langsam den langen Windungsweg des Verdauungskanales hinabgepreßt wird. Auf der ganzen Strecke, schon in der Mundhöhle beginnend, aber am energischsten im Darmkanal, finden sich die Bedingungen, um den von vornherein flüssigen oder durch die Verdauung verflüssigten Nahrungsstoffen den Eintritt in die Gefäße des Blutes sowie der Lymphe, respektive des Chylus zu gestatten. Am Ende des Verdauungsrohres reguliert ein willkürlich agierender Ringmuskelschließapparat den Austritt der überschüssig aufgenommenen unverdauten und unverdaulichen Stoffe.

Betrachten wir zunächst etwas eingehender die Mechanik der Mundverdauung. Durch Herabsinken des durch Gelenke mit dem übrigen knöchernen Kopfgerüste beweglich verbundenen Unterkiefers erfolgt die Öffnung der Mundhöhle, welcher, meist vermittelst der Hände, die festen Speisen übergeben werden. Flüssigkeiten werden durch die Mundhöhle aktiv angesaugt oder eingeschlürft, beides vermittelt durch Luftverdünnung in der Mundhöhle. Für den Akt des Ansaugens werden zunächst die Luftzugänge zur Mundhöhle in Nase und Rachen durch Muskelwirkungen des Gaumens und der Zunge abgeschlossen, auch die Lippen schließen sich fest um die Mündung des die aufzunehmende Flüssigkeit enthaltenden Gefäßes. Nun erst wird die Mundhöhle durch Herabsenkung des Mundhöhlenbodens erweitert; dadurch tritt, da ein Einströmen von Luft von außen her unmöglich gemacht ist, eine Luftverdünnung in der Mundhöhle ein, und infolge dieser strömt die Flüssigkeit in den erweiterten Mundraum. Bei dem gewöhnlichen Trinken aus weiten Gefäßen verschließen wir den Mund mit der Flüssigkeit selbst und erweitern ebenfalls bei vollkommenem Abschlusse der von der Nase zur Mundhöhle führenden Luftzugänge die Mundhöhle und den Brustraum. Dadurch wird die Luft in der geschlossenen Mundhöhle energisch verdünnt, und die Flüssigkeit tritt infolge davon in dieselbe ein. Darin liegt auch der Grund, warum wir bei mageren Personen die Wangen beim Trinken gegen die Mundhöhle zu einsinken sehen. Beim Schlürfen ziehen wir durch die verengerte Mundspalte durch Erweiterung der Brust rasch einen Luftstrom ein, welcher die an die Lippen gebrachte Flüssigkeit, wie ein Wassergebläse, mit sich in die Mundhöhle reißt.

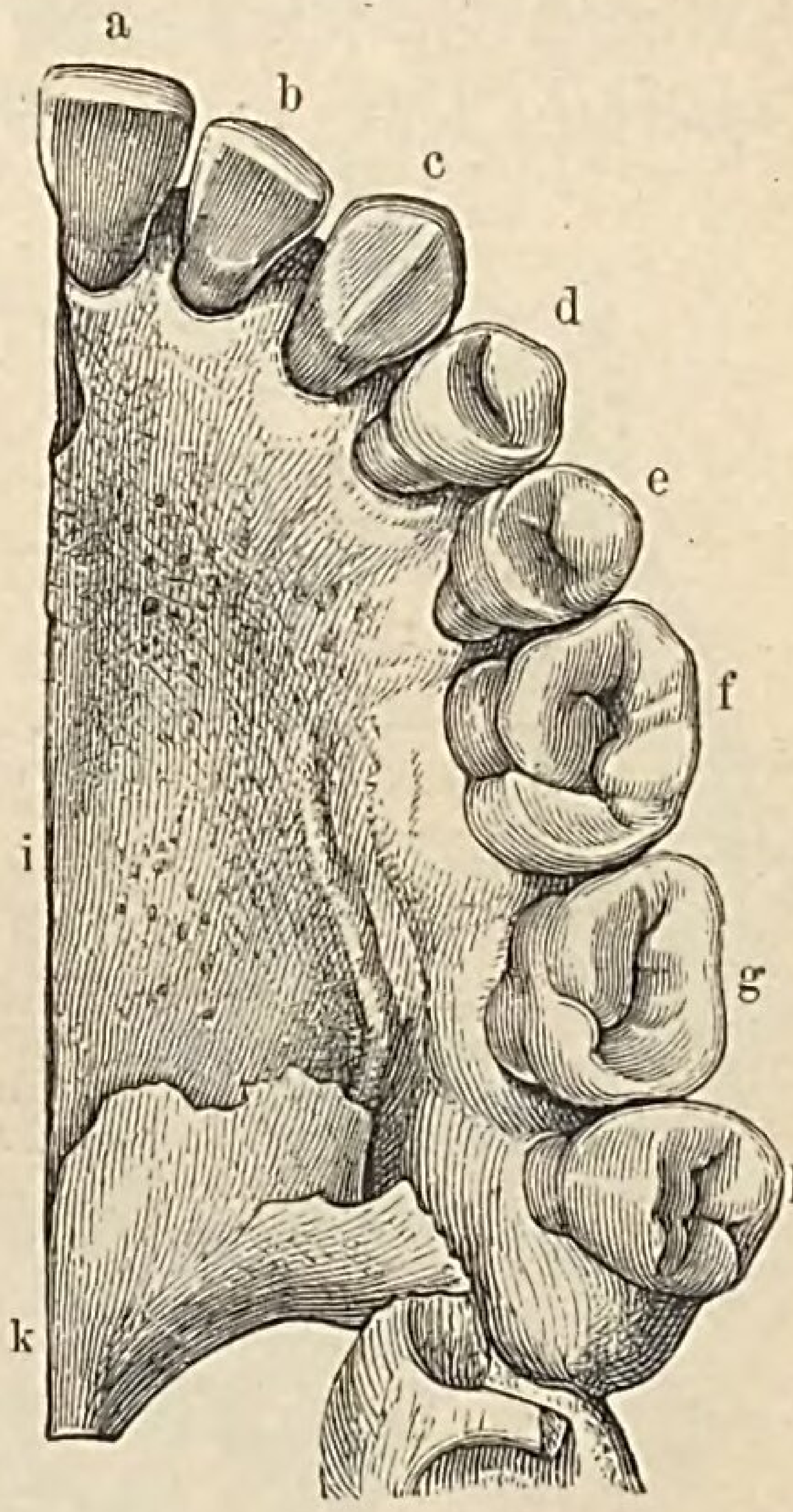


Längsschnitt durch die Menschenzunge.

z) Schneidezahn, L) Lippe, u) Unterkiefer, h) Zungenbein, e) Kehldeckel, alle vier senkrecht durchschnitten, m, m1) Zungenmuskelfasern, um ihre verschiedene Verlaufsrichtung zu zeigen, w) Zungenwärzchen, f) Zungenfollikel.

Die Bewegungen des Unterkiefers gegen den feststehenden unbeweglichen Oberkiefer besorgen die Zerkleinerung der in fester Form aufgenommenen Speisen; die Zahnreihen werden aneinander gedrückt, aber auch schleifend gegeneinander bewegt. Die Speisen werden zwischen die Schneid- und Quetschapparate der Zähne durch die Bewegung der Lippen, Wangen und vor allem der Zunge gepreßt, zwischen den Zähnen gehalten und wieder aus ihnen entfernt, um endlich zwischen dem hohlen Zungenrücken und dem harten Gaumen zum Bissen geformt zu werden.

Die **Zunge** (Lingua oder Glossa, s. Abbildung, S. 292) ist von den eben aufgeführten beweglichen Organen, die der Mechanik der Mundverdauung dienen, unstreitig das wichtigste. Ihr wunderbar gewebtes Netz vielfach verschlungener Muskelfasern ermöglicht nicht nur die uns hier beschäftigende vergleichsweise niedrige tierische Funktion, sondern wirkt auch bei der höchsten der menschlichen Muskelthätigkeiten, der **Sprache**, wesentlich mit. Die eigenen Muskelsysteme der Zunge zeigen in allen Abschnitten derselben vorwiegend drei Verlaufsrichtungen der Muskelfasern. Von vorn nach hinten sehen wir die Zunge durchsetzt von Längsfasern, überall verlaufen aber auf die Längsrichtung auch Querfasern, und von oben nach unten steigen in der ganzen Länge und Breite der Zunge Muskelfasern senkrecht in die Höhe. Überdies ist die Zunge durch Muskeln mit dem Unterkiefer und dem Zungenbein verbunden, welche sie als Ganzes bewegen; sie folgt passiv allen Bewegungen der letztgenannten Knochen.

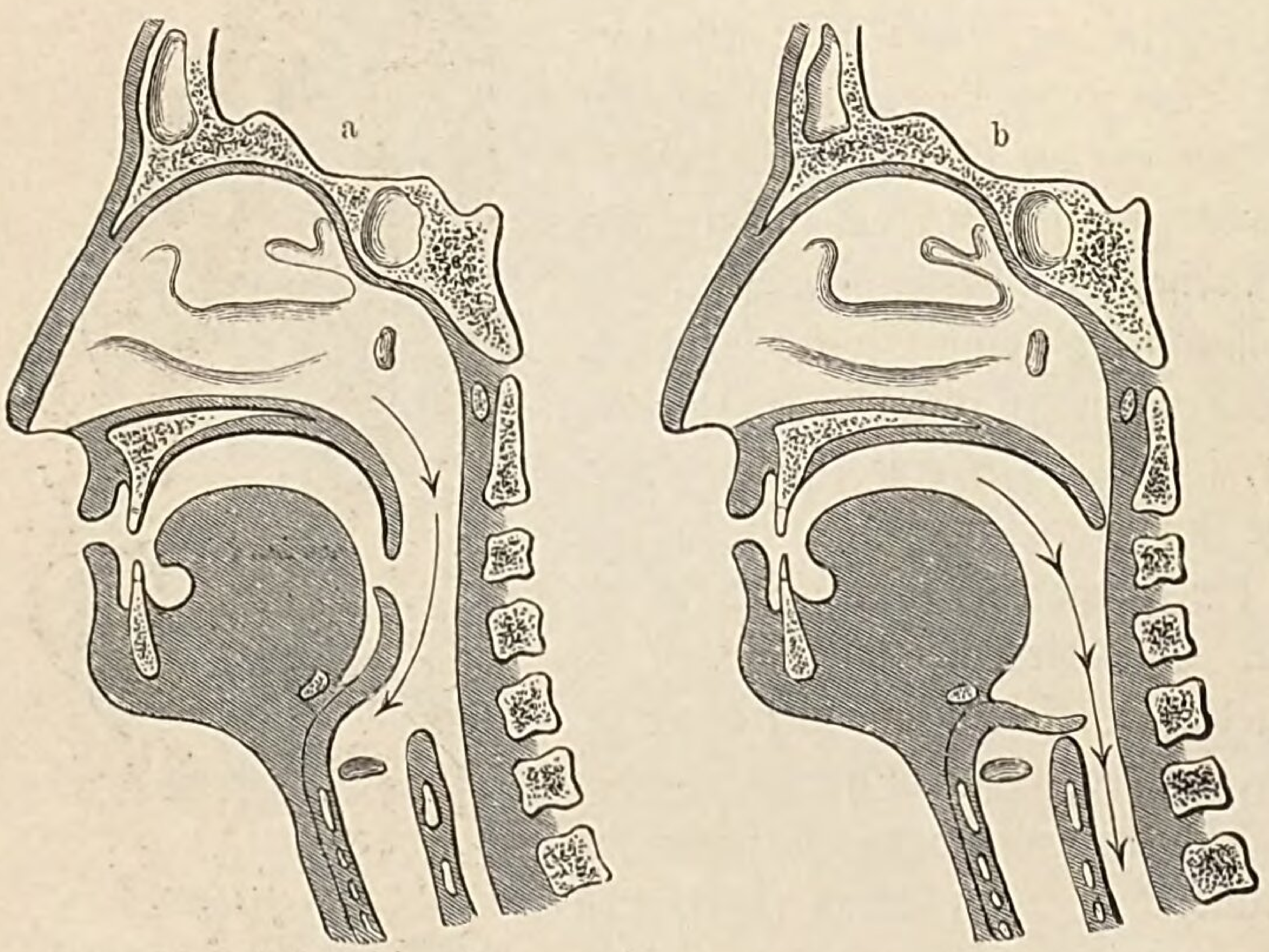


Bleibende Zähne des linken Oberkiefers.
a) Innerer, b) äußerer Schneidezahn, c) Eckzahn (Augenzahn), d) vorderer kleiner Backenzahn, e) hinterer kleiner Backenzahn, f) vorderer großer Backenzahn, g) mittlerer großer Backenzahn, h) Weisheitszahn, i) harter Gaumen, k) Gaumenbein.

Die aktiven Formveränderungen und Bewegungen der Zunge werden durch die eben erwähnten, in der Zunge selbst gelegenen drei Muskelfaserzüge vermittelt. Die Zungenbewegungen gestalten sich dadurch so mannigfaltig, daß sich die Gruppen der Längs-, Quer- und senkrechten Fasern nicht nur jede für sich in ihrer Gesamtheit, sondern auch bloß teilweise, z. B. halbseitig oder in noch geringerer Ausdehnung, zusammenziehen können. Ziehen sich alle senkrecht in der Richtung von oben nach unten verlaufenden Zungenmuskelfasern allein zusammen, so wird, wie eine einfache Überlegung lehrt, dadurch die ganze Zunge breit und platt. Tritt eine Verkürzung aller Längsfasern der Zunge ein, so gestaltet sich die Form der Zunge kurz und dick. Sind die Längsfasern schlaff, so bewirkt eine Zusammenziehung der Querfasern eine Verlängerung und gleichzeitig eine Verschmälerung der Zunge im ganzen. Ziehen sich Längs- und Querfasern gleichzeitig zusammen, so formt sich die Zunge zu einem festen, rundlichen, vorn etwas zugespitzten Zapfen. Bei einmal angenommener Gestalt kann die Zungenspitze oder die ganze Zunge nach allen Richtungen in der Mundhöhle bewegt werden. Zur Bewegung in horizontaler, seitlicher Richtung bedarf es nur einer einseitigen Zusammenziehung der äußeren Längsfasern der Zunge. Durch alleinige Zusammenziehung der innersten, senkrecht von unten nach oben verlaufenden Fasern höhlt sich der Zungenrücken zum Löffel, durch Zusammenziehung der untersten Querfasern wird er dagegen konvex nach oben gewölbt.

Die Anatomie der **Zähne** (Dentes) werden wir, obwohl die Zähne im eigentlichen Sinne nicht zum Knochensystem gehören, bei Besprechung des menschlichen Knochengerüstes näher betrachten. Ihre physiologische Wirkung besteht für die Mundhöhlenverdauung im Zerschneiden, Zerreißen und Zerquetschen der fest aufgenommenen Nahrungsbestandteile, Funktionen, zu welchen die Zähne je nach ihrer verschiedenen Form: als Schneidezähne (Dentes incisivi oder primores), Eck- oder Reißzähne (Dentes angulares oder canini) und die Backen- oder Mahlzähne (Dentes praemolares und molares), speziell geeignet erscheinen. Die Bewegung der Zähne beruht auf der Beweglichkeit des Unterkiefers gegen den feststehenden Oberkiefer, und zwar bewegt sich der menschliche Unterkiefer nicht nur um eine durch beide Kiefergelenke gelegte horizontale Achse, der Bau der Kiefergelenke läßt auch in geringerem Grade ein Vor- und Rückwärtsgleiten sowie eine rotierende Bewegung zu, Bewegungsformen, welche namentlich bei dem Zermalmen der Speisen zwischen den Backenzähnen in Wirksamkeit treten.

Sind die Speisen gekaut und mit den Flüssigkeiten der Mundhöhle gemischt, so erfolgt die **Bildung des Bissens**. Die breiartig verarbeiteten Speisen werden auf den Zungenrücken geschoben, dieser höhlt sich löffelförmig aus und preßt sich an die knöcherne Decke der Mundhöhle, den harten Gaumen. Dadurch erhält der Bissen seine charakteristische, etwas elliptische, rundliche Gestalt. Indem das Andrücken der Zunge von ihrer Spitze nach rückwärts fortschreitet, wird der Bissen weiter nach hinten, endlich hinter den weichen Gaumen geschoben und von hier aus dem Schlunde übergeben. Die **Choanen**, d. h. die hinteren inneren Öffnungen der Nase in den Schlund, werden durch Muskelzusammenziehung geschlossen, der Kehldeckel legt sich wie eine Brücke über den Eingang des Kehlkopfes. Nun kann der Bissen nur in die Speiseröhre hinabgleiten, welche ihn durch die schon mehrfach erwähnten peristaltischen Bewegungen, die sie mit Magen und Gedärmen teilt, in den Magen hinabdrückt. Die beiden untenstehenden Abbildungen zeigen die Stellung der Mund- und Rachenteile, a bei der Atmung, b bei dem Schluckakte.

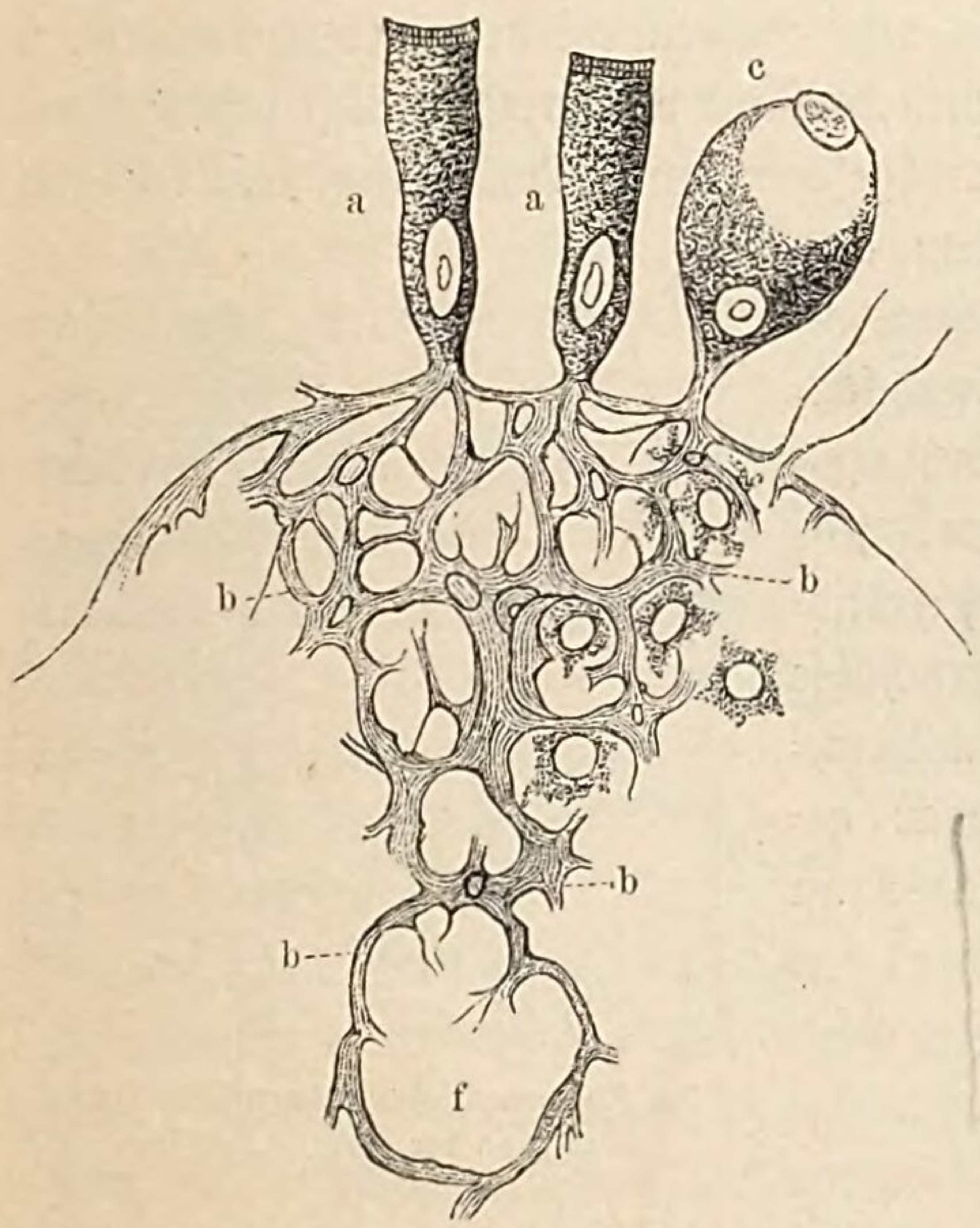


Stellung der Mund- und Rachenteile. a) bei der Atmung, b) bei dem Schluckakte.

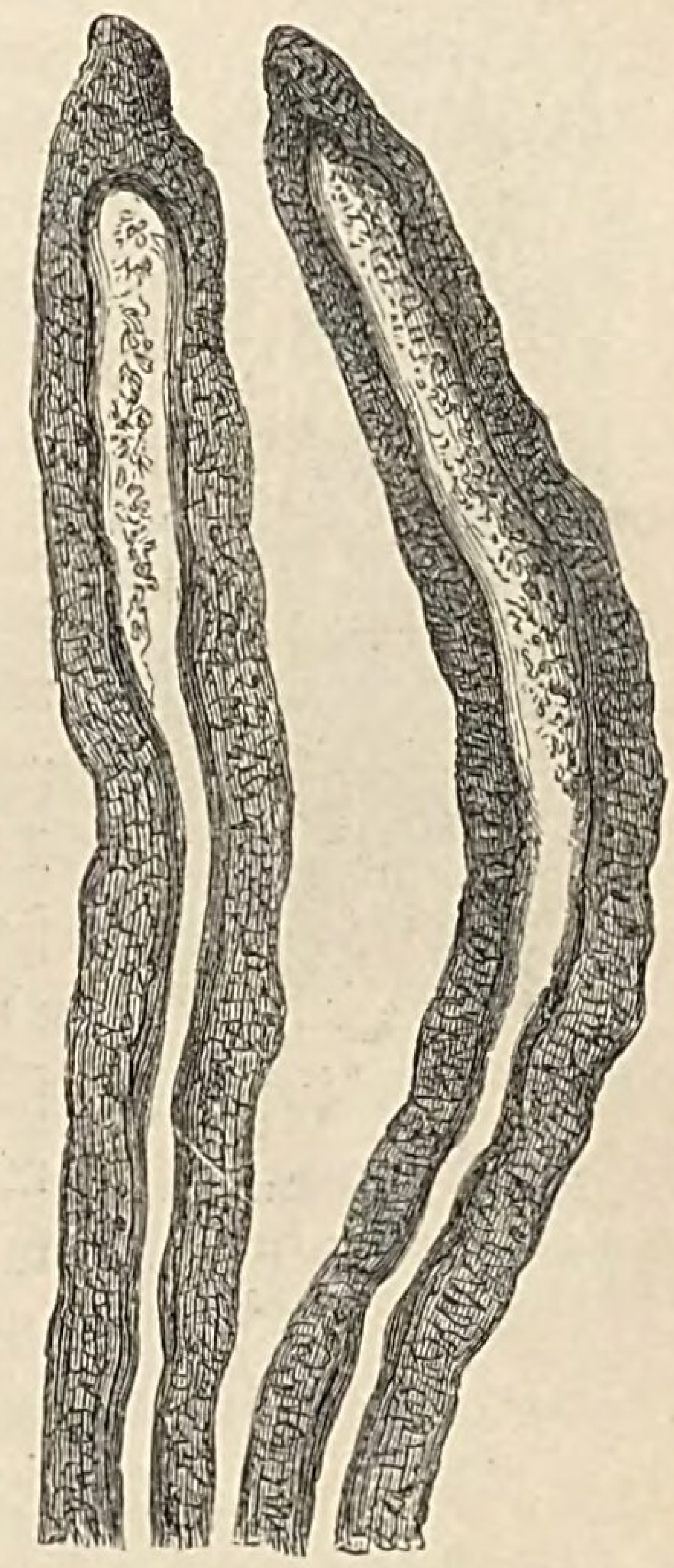
Diese peristaltischen oder **wurmförmigen Bewegungen der Gedärme** sind eine höchst auffallende Erscheinung. Es ist leicht, dieselben in großer Lebhaftigkeit bei frisch geschlachteten Tieren, z. B. bei Lapins, zu beobachten, denen man nach dem Tode rasch die Unterleibshöhle geöffnet hat. Unter dem Reiz der Luft sehen wir eine lebhafte Bewegung der Gedärme eintreten: sie ziehen sich an einer Stelle zusammen, an einer anderen sehen wir sie sich erweitern; es macht ganz den Eindruck, als wären die Eingeweide ein Knäuel von Schlangen, welche unter- und durcheinander sich winden und kriechen. Die Ringfasern der Muskelschicht des Darmrohres ziehen sich an einer Stelle soviel wie möglich zusammen, dadurch wird der Hohlraum des Rohres vollkommen zusammengedrückt, verschlossen, und der etwanige Inhalt in der Richtung der nicht zusammengepreßten Rohrstrecke weggepreßt. Indem diese Zusammenziehungen an dem obersten Abschnitte des Rohres beginnen und langsam über seine ganze Länge bis ans Ende fortschreiten, findet das Wegpressen des Inhaltes in der Richtung von oben nach unten statt, und der Inhalt durchwandert auf diese Weise die gesamte Rohrlänge. Da in der Muskelschicht des Magens außer den Quer- und Längsfasern des Darmrohres noch schief verlaufende Muskelfasern auftreten, so wird dadurch seine Bewegung eine kompliziertere, welche den Mageninhalt bei geschlossenem Magenmund und Pförtner an den Magenwänden langsam kreisend hinbewegt.

Nicht weniger wichtig als die eben besprochenen, der Bewegung der aufgenommenen Speisen im ganzen dienenden Akte sind jene mechanischen Einrichtungen und Prozesse im Verdauungskanal, welche die durch den Verdauungsprozeß im Verdauungskanal angehäuften Flüssigkeiten der Säftemasse des Körpers einverleiben. Hier haben die Entdeckungen der Neuzeit über die Einzel-Lebensthätigkeit der Organe, der Organteile und der sie aufbauenden Zellen überraschende Aufschlüsse

gebracht. Man hat nach der Entdeckung der physikalischen Gesetze der Flüssigkeitsdiffusion, der Endosmose, vielfach gemeint, daß sich der gesamte Vorgang der Flüssigkeitsaufnahme im Darm ausschließlich aus diesem der anorganischen Welt zugehörigen Gesetz erklären lasse. Es unterliegt auch kaum einem berechtigten Zweifel, daß bei der Aufsaugung im Verdauungskanal die Endosmose (Flüssigkeitsdiffusion) eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt. Aber die Verhältnisse gestalten sich doch bei lebenden Geweben wesentlich anders als bei toten, getrockneten Häuten oder unorganischen porösen Scheidewänden, welche zu den Grundexperimenten der Endosmose in den physikalischen Laboratorien dienen. Das endosmotische Durchlassungsvermögen lebender Gewebe ist sehr verschieden von dem toter oder gar getrockneter Häute. Für Flüssigkeiten, welche die Lebensenergie der Gewebe nicht herabsetzen oder sonst verändern, sind die lebenden Gewebe so gut wie undurchlässig, und wir sind daher gezwungen, nach anderen Momenten auszuschauen zur Erklärung des großartigen Phänomens, daß täglich eine Flüssigkeitsmenge, welche viele Kilogramme wiegt, aus dem Hohlraum der Verdauungsorgane in die Säftemasse des Körpers eintritt.



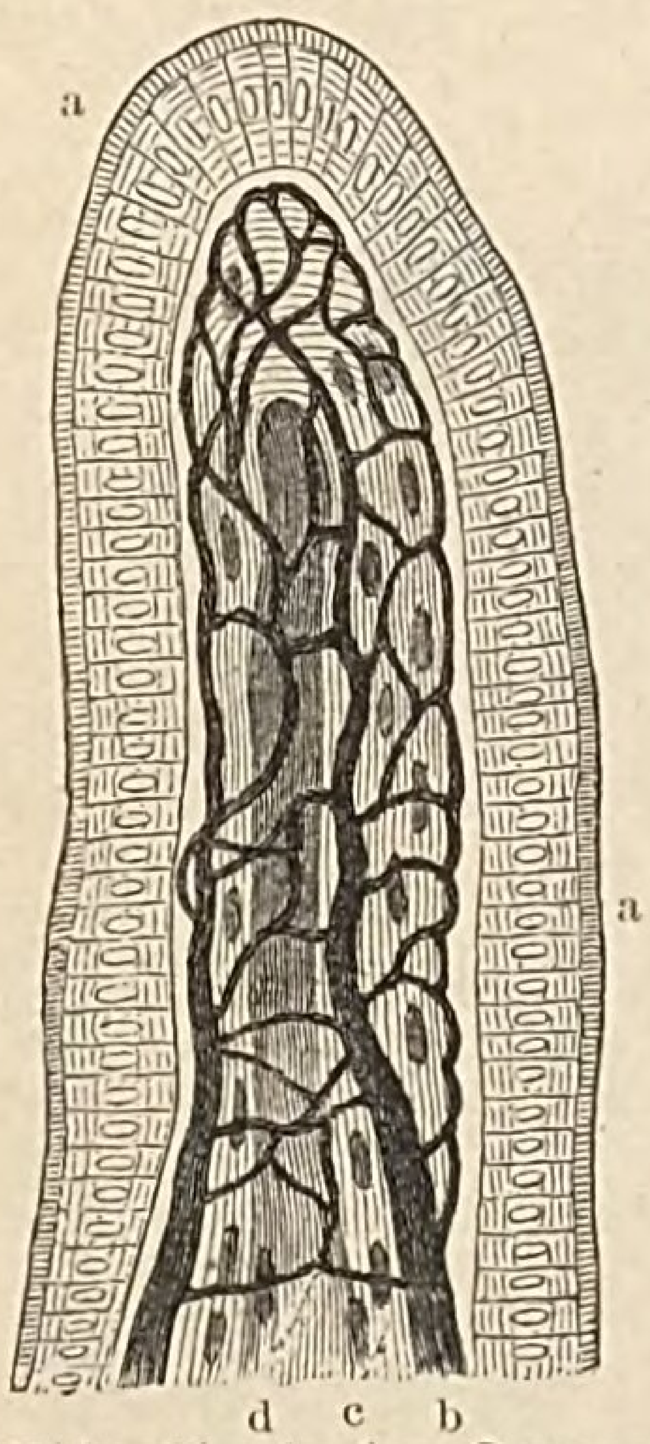
Cylinderzellen der Darmschleimhaut.
a) Mit verdicktem Saume, b) kapillare Hohlräume für die Chylusbewegung, c) Becherzelle, f) zentrales Chylusgefäß der Zotte im Querschnitt. Schematisch, vergrößert.



Darmzotten
vom Kalbe, ohne äußeren Zellenbeleg mit dem zentralen Chylusgefäße im Innern; stark vergrößert.

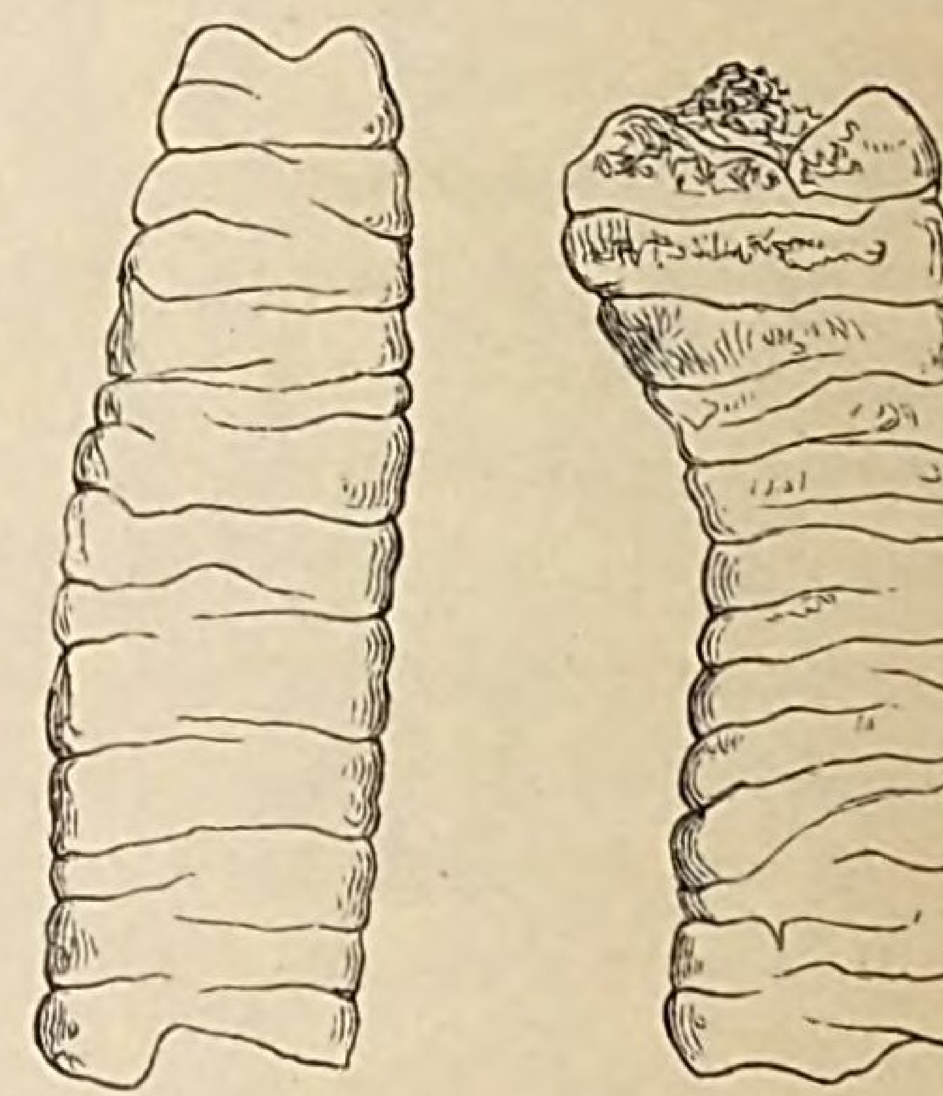
Der Vorgang der Aufsaugung besteht im wesentlichen in einem aktiven Einpumpen der Flüssigkeit in die Anfänge der Lymph-, respektive Chylusgefäße. Es gelang, zahlreiche kleine Pumpwerke, welche dieser Aufgabe vorstehen, aufzufinden, bei welchen die Kleinheit der Einzelleistung durch die große Zahl der gleichzeitig arbeitenden Apparate ausgeglichen wird. Diese Pumpwerke sind die schon beschriebenen Darmzotten, in denen die Anfänge der Darmlymph- oder Chylusgefäße liegen, durch welche die Hauptmasse der im Darme aufgenommenen Flüssigkeiten dem Blute zugeführt wird. Legen wir ein aufgeschnittenes Stückchen Darm eines frisch geschlachteten Säugetieres in Wasser und lassen dasselbe darin etwas flottieren, so bemerken wir schon mit freiem Auge jene große Anzahl zottenförmiger oder dick-haarförmiger Anhänge, welche wir als Darmzotten kennen gelernt haben. In der Achse jeder Darmzotte, welche reichlich mit Blutgefäßchen und Kapillaren durchzogen sind, läßt sich ein Hohlraum nachweisen, welcher an dem unteren Ende der Zotte, dort, wo sie der Schleimhaut aufsitzt, in ein wahres Lymph-, respektive Chylusgefäß übergeht, nach oben aber unter der Spitze der Zotte mit einer meist etwas kolbig angeschwollenen Erweiterung zu endigen scheint. Diese zentralen Hohlräume der Zotten sind die „Wurzeln" der Darmlymphgefäße, der Chylusgefäße (s. obige Abbildung rechts).

Feinere mikroskopische Untersuchungen lehren, daß diese Wurzeln der Darmlymphgefäße durch zahlreiche Porenkanälchen in offener Verbindung mit dem Hohlraum des Darmes stehen. Die Oberfläche der Zotten ist wie die ganze Darmschleimhaut mit jenen mehrfach erwähnten cylinderförmigen Zellen, den Cylinderzellen, vollkommen überkleidet. Diese Zellen lassen, mit starken optischen Vergrößerungen betrachtet, auf ihrer der Darmhöhle frei zugewendeten Oberfläche eine auf ihrer eigenen Längsachse senkrecht stehende Strichelung oder feine Streifung erkennen, meist als Ausdruck zahlreicher die Zellenoberfläche durchsetzender offener Porenkanälchen, welche in das Innere der Zelle münden, gedeutet. Nach mehrfach bestätigter Angabe verjüngen sich die Cylinderzellen der Zotten an ihrem unteren, der Zotte aufsitzenden Ende und gehen schließlich in feine, verästelte „Röhrchen" aus, welche sich mit ähnlichen zarten Röhrengebilden, die in der Zottensubstanz selbst liegende Zellen untereinander verbinden (wie das überall auch in dem häutigen Bindegewebe und der Knochensubstanz der Fall ist), zu einem die Zotte durchsetzenden engen Kanalnetze vereinigen. Schließlich münden diese Röhrennetze in den beschriebenen, in der Zottenlängsachse gelegenen, relativ weiten, zentralen Lymphraum, in die Wurzel der Darmlymphgefäße, ein (s. Abbildung, S. 295 links, ebenso nebenstehende Abbildung).



Mikroskopie der Darmzotten.
a) Die äußere Bekleidung mit Cylinderzellen mit verdicktem Randsaume, b) das Kapillarnetz, c) Längslagen glatter Muskelfasern, d) zentrales Chylusgefäß.

Wie wir oben schon andeuteten, zeigt sich bei Tieren, welche nach fettreicher Nahrung in der Verdauungsperiode geschlachtet wurden, jede Dünndarmzotte in ihrer ganzen Substanz mit den aus der Darmhöhle eingedrungenen, durch die undurchsichtigen Fettstäubchen sichtbar gemachten Flüssigkeiten erfüllt. Man kann mit Hilfe des Mikroskopes den Weg verfolgen, welchen die fettreiche, aus dem Darm aufgesaugte Flüssigkeit in der Zotte nimmt; von den „Porenkanälchen" der äußeren Zellenwände an in die Cylinderzelle hinein, von den Zellen durch ein feinstes Röhrennetz in das zentrale Lymphgefäß der Zotte sehen wir den gesamten Weg, welchen die Nahrungsflüssigkeit aus dem Darme passiert, vor unseren Augen.


In Zusammenziehung begriffene Darmzotten der Katze, vergrößert.

Die Zotten wirken, wie wir sagten, als kleine Saug- und Druckpumpen, welche aus dem Verdauungskanal die Flüssigkeiten, die zu Darmlymphe oder Chylus werden sollen, mechanisch an- und einsaugen. Wie bei dem großen Pumpwerke des Herzens, welches der Blutzirkulation vorsteht, wird auch bei diesen kleinen Saugpumpen die Ansaugung und Bewegung der Flüssigkeit durch Klappeneinrichtungen in einer bestimmten Richtung und zwar, wie in den Blutadern, den Venen, nur in der Richtung gegen das Herz zu gestattet. Die für die Bewegung und Einsaugung der Darmlymphe wirksam werdenden, oben beschriebenen Klappen befinden sich in den Anfangsstücken der eigentlichen Lymphgefäße, welche aus dem Zentralraum der Zotte hervorgehen. Sie zeigen ziemlich denselben Bau wie die Venenklappen, sind aber in den Lymphgefäßen in noch weit größerer Anzahl als in den Venen vorhanden. In der Zottensubstanz verlaufen in der Längsrichtung parallel dem zentralen Lymphgefäß um das letztere organische Muskelfasern, welche sich auf gewisse Reize, wobei auch die Galle mitzuwirken scheint, verkürzen und dadurch die ganze Zotte zusammendrücken. Durch diese Zusammenziehung der Zotte werden nicht nur ihre

Blutgefäße entleert, sondern auch der Inhalt des zentralen Lymphgefäßes in der Richtung, in welcher der Flüssigkeitsbewegung der geringste Widerstand entgegensteht, also in die offenen weiteren Lymphgefäße, eingepreßt. Nachdem die Zottenkontraktion eine Zeitlang gewährt, erschlaffen die zusammengezogenen Zottenmuskelfasern wieder (s. Abbildung, S. 296 rechts). Nun kann auch das Blut wieder in das reiche Blutgefäßnetz der Zotte einströmen, dadurch gewinnt die Zotte die ihrem Ruhezustande entsprechende Normalgestalt zurück, sie wird ausgedehnt. Auch das zentrale Lymphgefäß wird dadurch mit erweitert und wirkt durch den hierbei in ihm entstehenden Saugdruck, wie das nach der Zusammenziehung sich wieder erweiternde Herz, ansaugend auf die umspülenden Flüssigkeiten. Durch die Klappen der Lymphgefäße ist der Rückweg für die aus der Zotte durch die Kontraktion derselben in die Lymphgefäße eingepreßte Flüssigkeit versperrt, ganz ähnlich, wie sich im Herzen die Klappen einem Rückstrom des Blutes absolut hindernd in den Weg stellen. Die Saugwirkung der Zotte kann daher nur neue Flüssigkeitsmengen aus dem Darmkanal durch die Porenöffnungen der Cylinderzellen und durch das feine Kanalnetz der Zottensubstanz ansaugen. Nun folgt nach einer Ruhepause eine neue Zusammenziehung und dann wieder eine Erschlaffung der Darmzotte mit demselben Erfolg für die Lymphbewegung, wie wir ihn soeben geschildert haben.

Zur Erklärung des Eintrittes von Flüssigkeiten aus der Verdauungshöhle direkt in Blutgefäßkapillaren des Darmes, ein Vorgang, den wir neben dem eben geschilderten kaum bezweifeln dürfen, bieten sich uns außer der wohl unzweifelhaft direkt wirksam werdenden Endosmose die im Kapillargefäßsystem dauernd, aber periodisch verstärkt wirkenden Saugeinrichtungen dar, welche nicht nur in den Verdauungsorganen, sondern in allen vom Blute durchströmten Organen ein Einströmen von Organflüssigkeit in das Blut auf diesem Wege ermöglichen. Darauf beruht ja die reinigende, auswaschende Wirkung der Blutdurchströmung in allen Organen. Auch an die direkte Aufnahmefähigkeit des Zellenprotoplasmas für feste Partikelchen, ein Vermögen, welches wir bei der Untersuchung der Lebenseigenschaften der nackten Protoplasmakörper kennen gelernt haben, müssen wir uns bei dem Aufsaugungsvorgang im Darmrohr, namentlich bei den Blutkapillaren, deren Wandungen ja aus nackten Protoplasmazellen zu bestehen scheinen, erinnern.

Die Aufsaugung der Nährflüssigkeiten aus dem Darmrohr in die Säftemasse des Organismus, woran sich vielleicht auch das Protoplasma der Cylinderzellen aktiv beteiligt, ist sonach kein einfacher, sondern ein sehr komplizierter Vorgang. Aber das steht fest, daß wir an diesem wichtigen Lebensprozeß ein treffendes Beispiel besitzen dafür, daß auch sehr verwickelte Erscheinungen des Lebens sich bei näherer Erforschung in Akte bekannter mechanischer Kräftewirkungen auflösen.

Milchsaft und Lymphe.

Über das physiologische Verhältnis der aus der Verdauung hervorgegangenen Flüssigkeit, welche während der Verdauungsperiode die Darmlymphgefäße als Chylus oder Milchsaft erfüllt, zur Lymphe der übrigen Organe haben wir schon mehrfach gesprochen. Als Resultat dieser Betrachtungen hat sich ergeben, daß der Chylus nichts anderes ist als die durch die Aufnahme der in der Verdauung verflüssigten Nahrungsbestandteile vermehrte Darmlymphe.

Die Lymphe, welche, wie wir wissen, aus den Organen durch die Lymphgefäße dem Blute zugeführt wird, ist, abgesehen von der Darmlymphe während der Verdauung, eine beinahe durchsichtige, fast wasserklare, aber sonst blutähnliche Flüssigkeit, welche sich von dem eigentlichen Blute vorzüglich durch den Mangel des roten Blutfarbstoffes und der Träger des letzteren im Blute,

der roten Blutkörperchen, unterscheidet. Wir haben bei der Lymphe wie bei dem Blute eine farblose Flüssigkeit, das Lymphplasma, in welcher zahlreiche ungefärbte, kugelige, kleine Zellen, die Lymphkörperchen, schwimmen; sie stimmen im Bau und Verhalten vollkommen mit den weißen oder farblosen Blutkörperchen überein, sie sind in Wahrheit mit ihnen identisch. Die farblosen Blutkörperchen sind nichts anderes als Lymphkörperchen, welche mit der Lymphe in das Blut ergossen wurden. Die Lymphe gerinnt wie das Blut unter Bildung eines Faserstoffkuchens. Die chemischen Bestandteile der Lymphe sind, abgesehen von dem schon hervorgehobenen Mangel, überhaupt die gleichen, welche wir vom Blute namhaft gemacht haben.

Bei vollkommener Nahrungsenthaltung, wenn der Darm längere Zeit hindurch leer ist, ist, wie gesagt, auch die Darmlymphe, welche sich dann, wie in den übrigen Organen, nur aus den Stoffen der Verdauungsorgane selbst ergänzt, im Aussehen und Verhalten der übrigen Organlymphe vollkommen ähnlich. Ist dagegen Nahrung und namentlich fettreiche Nahrung aufgenommen, so wird die Darmlymphe, zu welcher sich nun die aus dem Darmkanal aufgenommene Nährflüssigkeit mischt, durch die reichlich in ihr enthaltenen Fettkörnchen mehr und mehr milch- oder rahmähnlich. Diese milchähnlich weißliche Flüssigkeit der Darmlymphgefäße, welche dann bald auch den Inhalt des Milchbrustganges erfüllt, ist es, welche den Namen Milchsaft, Chylus, trägt.

Schon aus dem Gesagten müssen wir folgern, daß der Chylus nicht mehr identisch ist mit der aus der Verdauung hervorgegangenen Flüssigkeit, welche in die Lymphwurzeln des Darmes eingesaugt wurde. Es ist bisher nicht gelungen, diese letztere Flüssigkeit gesondert von der sonstigen Darmlymphe chemisch zu untersuchen. Unter den in den Lymphbahnen herrschenden physiologischen Bedingungen werden schon in der Darmwand selbst die aufgenommenen Flüssigkeiten der wahren Lymphe und damit dem Blute mehr und mehr verähnlicht. Namentlich zur Entscheidung wichtiger Fragen über die Fett- und Eiweißstoffaufnahme wäre eine solche Untersuchung von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit. Man hat im Chylus nur in geringen Mengen aus der Pankreasverdauung stammende Fettseifen nachweisen können, ebenso in nur geringer Quantität Eiweißpeptone; wenigstens die letzteren werden sonach wohl rasch in den Bahnen der Lymphwege in normale Eiweißkörper zurückverwandelt, auch für die Rückführung von Fettseifen in Fette scheint das zu gelten. Nach stärkemehl- und zuckerreicher Nahrung steigt der Gehalt der Darmlymphe an Traubenzucker bis auf 2 Prozent.

Die Gesamtmenge der Lymphe ist eine sehr beträchtliche, sie ist weit größer als die Gesamtmenge des Blutes. Man pflegt die gesamte Lymphbewegung im Körper als den „intermediären Kreislauf" zu bezeichnen. Aus den Blutkapillaren treten die Flüssigkeiten in die Gewebe aus, welche, nachdem sie mit den Organen und ihren Zellen im ausgiebigsten Wechselverkehr gestanden haben, durch die Lymphgefäße wieder dem Blute zurückgegeben werden. Es besteht sonach zwischen Lymphe und Blut eine Art von Zwischenkreislauf, an welchem sich auch die von den Verdauungsdrüsen ausgeschiedenen, zum Teil quantitativ sehr beträchtlichen Mengen der Verdauungsflüssigkeiten: Speichel, Magensaft, Galle, Bauchspeichel, Darmsaft, beteiligen. Diese Säfte werden aus dem den betreffenden Drüsen vom Blute gelieferten Bildungsmaterial zunächst dem Darme übergeben, von dort aus aber der Hauptmasse nach mit den gelösten Nährstoffen wieder in die Lymphgefäße und aus diesen in das Blut aufgenommen. Der intermediäre Säftekreislauf ist einer der wesentlichsten Faktoren der Organernährung und der Organthätigkeit. Nimmt die Blutmenge des Organismus durch Nahrungsmangel, Blutverluste, Krankheit oder sonst durch irgend eine störende Ursache ab, so vermindert sich auch die in die Organe aus dem Blute einströmende Gewebsflüssigkeit, damit sinkt ganz entsprechend die Möglichkeit der Ernährung der Organe und des Stoffaustausches zwischen diesen und dem Blute. Im umgekehrten Falle erhöht

sich mit der Blutmenge die Menge der Gewebsflüssigkeit und damit die Möglichkeit der Organernährung und der Auswaschung der Organe von den ihre Funktionen beeinträchtigenden Gewebszersetzungsstoffen. Aus diesem Grunde strotzen gut ernährte Organe, gleichsam von den in ihnen enthaltenen Flüssigkeiten gespannt (Turgor), während schlecht ernährte Organe welk und schlaff erscheinen.

Die Bildung der Blutkörperchen. Lymphdrüsen und Blutdrüsen.

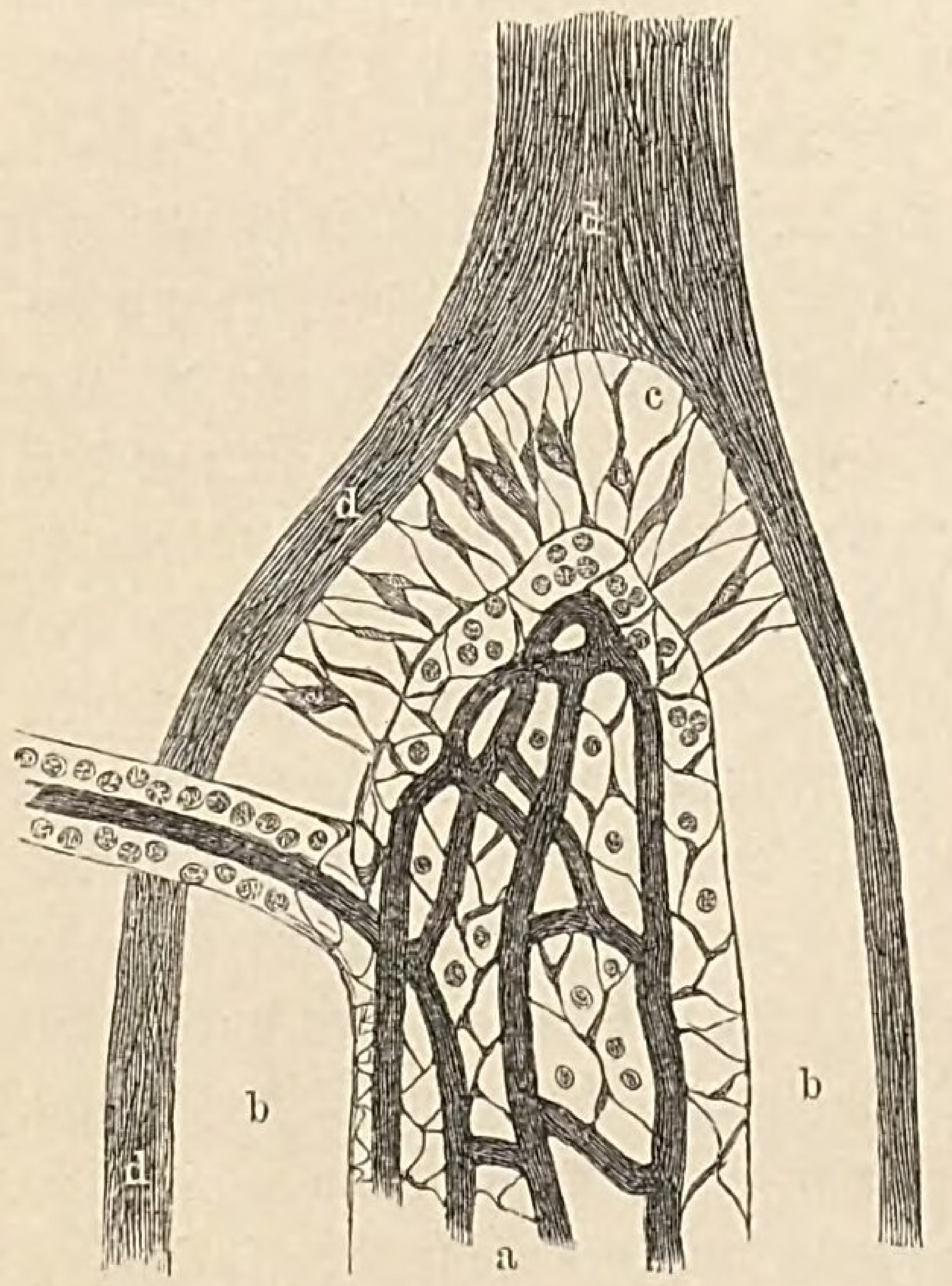
Die Lymphe, einschließlich des Chylus, erschien uns in den vorstehenden Besprechungen als das Material, aus welchem die Verluste an nicht gasförmigen Stoffen, welche das Blut namentlich bei der Erfüllung seiner Ernährungsaufgaben erleidet, wieder ersetzt werden.

Die Lymphe ist es aber auch, welche dem Blute einen wesentlichen Anteil seiner zelligen Elemente, nämlich die weißen oder farblosen Blutkörperchen, zuführt, deren Identität mit den Lymphkörperchen wir schon hervorgehoben haben. In den Lymphbahnen sahen wir die vergleichsweise noch roh aufgesaugten Nährbestandteile der Darmfüllung, welche, wie sie aus dem Verdauungsprozeß direkt geliefert werden, sich noch wesentlich von den eigentlichen Blutbestandteilen unterscheiden, chemisch modifiziert und in eine Flüssigkeit umgewandelt, die sich, abgesehen von dem Mangel roter Blutkörperchen, nur noch quantitativ in den Mischungsverhältnissen ihrer Bestandteile, kaum aber mehr qualitativ von der Blutflüssigkeit unterscheidet. Diese Umwandlung beginnt sofort nach der Einsaugung der Flüssigkeiten aus dem Darme in die Zotten noch in der Darmschleimhaut selbst, setzt sich aber fort fast bis zu dem Augenblick, in welchem die Lymphe, mit dem Chylus eine einheitliche Mischung bildend, in das Blut ergossen wird. Bei dieser physiologischen Beeinflussung, welche wie auf die Darmlymphe, so auch auf die Organlymphe statthat, spielen vor allem die in der Lymphbahn den von außen aufgenommenen Säften zugemischten Zellen, die Lymphzellen, eine hervorragende Rolle; auf ihre physiologische Thätigkeit ist die so auffallend rasch erfolgende, wesentlich chemische Umwandlung der betreffenden Flüssigkeiten zurückzuführen.

Um die Lymphzellen sowohl der Lymphe als dem Chylus zuzumischen, um die Beeinflussung der Flüssigkeiten durch diese Zellengattung zu einer möglichst ausgiebigen zu machen, sehen wir in allen Organen, am zahlreichsten aber in den Wandungen und Anhängen des Verdauungsrohres, in die Lymphbahnen die Lymphdrüsen eingeschaltet, deren allgemeine Verteilung im Organismus wir schon besprochen haben. Auch darauf haben wir bei der Aufzählung der Drüsen in der Schleimhaut des Verdauungskanales schon hingewiesen, daß in der Schleimhaut selbst kleine drüsige Organe, die geschlossenen Follikel und Follikelhaufen, sehr zahlreich enthalten seien, welche als kleinste und einfachst gebaute Lymphdrüsen anzusprechen sind.

Die einfachsten Lymphdrüsen sind die mikroskopisch kleinen, bläschenförmigen „geschlossenen Follikel", welche sich in allen Schleimhäuten der Verdauungsorgane sowie an anderen Stellen finden und je nach den verschiedenen Organen, in denen sie auftreten, unter verschiedenen Namen, z. B. in der Milz als Milzbläschen, beschrieben werden. Alle diese kleinen Bläschen, in der Darmschleimhaut von nur 1/5 bis 1/2 mm Durchmesser, zeigen eine ziemlich feste, faserige Hüllschicht, welche auch in das Innere des Drüsenbläschens ein feines, häutiges Balkennetz entsendet. Die Oberfläche der Bläschen ist reichlich mit Blutkapillaren durchzogen, welche mit jenem Balkennetz auch in das Innere der Bläschen eindringen. Zu jedem dieser einfachen, bläschenförmigen, geschlossenen Follikel tritt ein Lymphgefäßchen, ein anderes geht von ihm ab. Das zuführende

wie das abführende Lymphgefäßchen öffnet sich direkt in den Follikelhohlraum. Der ganze Hohlraum des Follikels, der durch die genannten Balkennetze in eine Anzahl untereinander offen kommunizierender kleiner Kammern zerfällt, ist mit kleinen, rundlichen, farblosen Zellen neben einer geringen Menge einer alkalisch reagierenden Flüssigkeit erfüllt. Diese Zellen sind die Lymphkörperchen, deren Bildungsstätten die Drüsenfollikel sind. Die durch das zuführende Lymphgefäßchen in den Follikel einströmende Flüssigkeit muß die engen Zwischenräume zwischen diesen Drüsenzellen durchsetzen, ehe sie in das abführende Lymphgefäßchen ein- und damit aus der kleinen Lymphdrüse wieder austreten kann. Auf diesem nur langsam zurückgelegten Wege finden von seiten der Lymphzellen schon in den geschlossenen Darmfollikeln jene chemischen Umwandlungen statt, durch welche der noch „roh" aus dem Darmkanal aufgenommene Saft dem Blute wesentlich verähnlicht wird. Von dem Lymphstrom werden einige der Lymphdrüsenzellen aus der Follikelhöhle mit fortgeführt, welche nun als eigentliche Lymphkörperchen in der Lymphflüssigkeit schwimmen und dort die Thätigkeit der Lymphdrüsen fortsetzen.



Mikroskopisches Gerüst einer Lymphdrüse (die in den Zwischenräumen liegenden Lymphzellen sind fast alle entfernt).

a) Markstrang mit dem Kapillarnetz, b) Lymphgang, bei c ist das Zellennetz desselben erhalten (Retikulum), d) äußere Hülle mit glatten Muskelfasern.

Die Einwirkung der Lymphdrüsen und Lymphzellen auf die Nährflüssigkeit erstreckt sich wesentlich auf die Eiweißstoffe der letzteren. Den Eiweißstoffen gegenüber spielen die Lymphzellen eine kaum weniger wichtige Rolle als die roten Blutkörperchen gegen den Sauerstoff. Wie die roten Blutkörperchen den Sauerstoff in der Lunge anziehen und lose an sich binden, so wirken die Lymphzellen anziehend auf die Peptone, als deren Hauptträger sie erscheinen. In dem Protoplasma der Lymphzellen scheint die Rückverwandlung der Peptone in gewebsbildende Eiweißstoffe vorzüglich stattzufinden.

Außer den kleinen geschlossenen Follikeln, welche vielfach in Haufen nebeneinander auftreten, gibt es auch noch größere, bis erbsengroße Lymphdrüsen. Im Bauprinzip entsprechen auch die großen Lymphdrüsen den eben geschilderten kleinsten Formen dieser wichtigen Drüsengattung (s. nebenstehende Abbildung). Denken wir uns eine Anzahl dicht nebeneinander liegender geschlossener Lymphfollikel dadurch zu einem größeren Ganzen kombiniert, daß die trennenden Zwischenwände der benachbarten Bläschen teilweise schwinden, so entsteht ein größerer, vielkammeriger Hohlraum, bei welchem aber noch jeder der vereinigten Hohlräume einem einfachen Follikel in Bau und Verhalten entspricht. Auch bei den größeren Lymphdrüsen unterscheiden wir, und zwar meist mehrere, zuführende und abführende Lymphgefäße, deren flüssiger Inhalt die mit Lymphzellen erfüllte Drüse langsam zu durchsetzen hat.

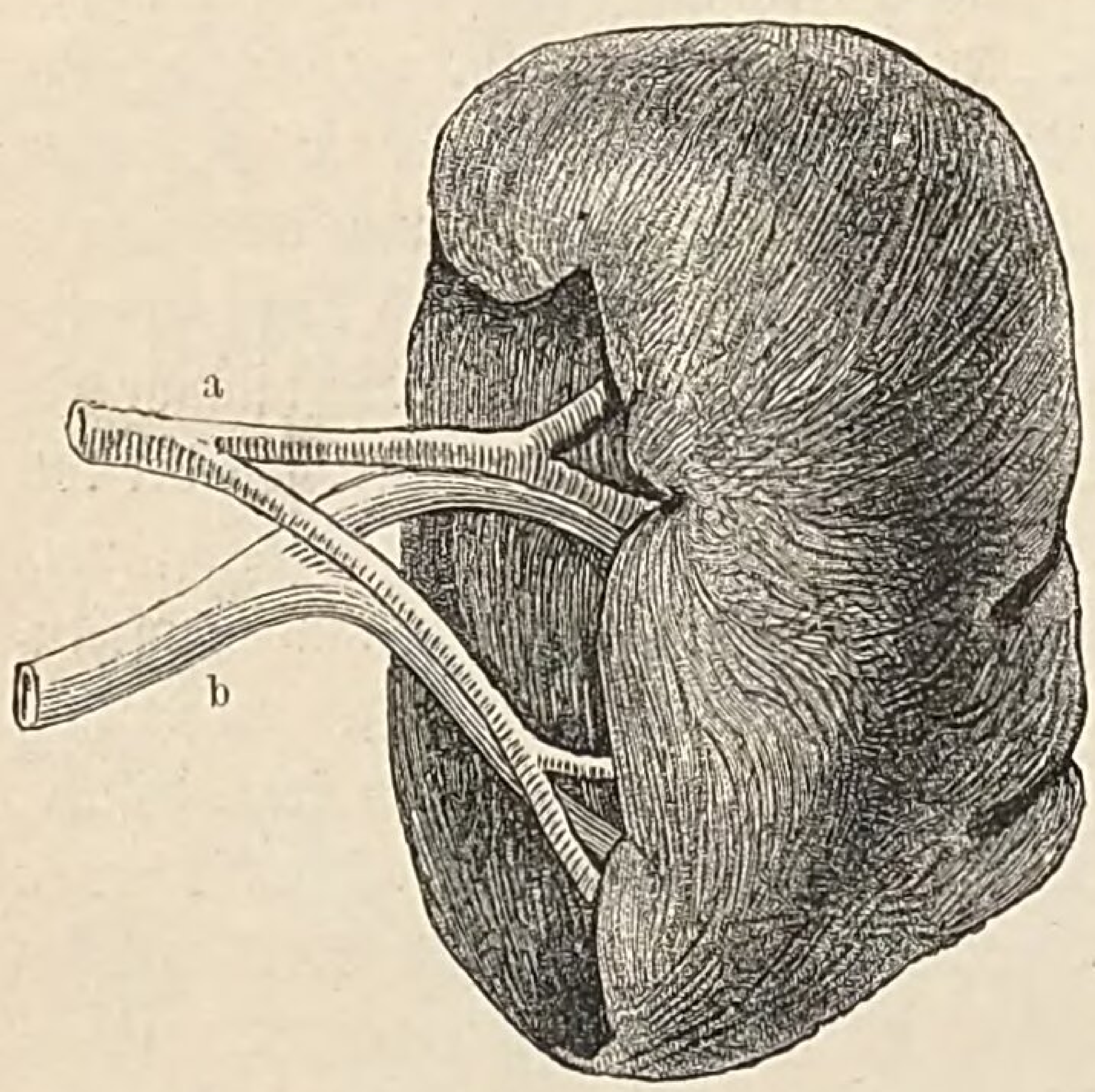
Mit der Lymphe wird ununterbrochen eine Anzahl von Lymphzellen in das Blut ergossen, welche dort als weiße Blutzellen eine Zeitlang fortleben. Daß die Zeit ihres Lebens im Blute keine unbegrenzte ist, geht schon daraus hervor, daß beständig eine Neuzufuhr weißer Blutzellen stattfindet. Dasselbe beweist auch die direkte Beobachtung. Abgesehen von den Verdauungsperioden, findet sich bei dem gesunden Menschen eine wenigstens annähernde Konstanz in dem relativen Zahlenverhältnis der weißen Blutkörperchen zu den roten, es trifft etwa 1 weißes auf 360 rote Blutkörperchen. Nach der Verdauung einer reichlichen Mahlzeit finden wir aber die weißen Blutkörperchen im Blute nicht unbeträchtlich vermehrt, denn der gesteigerte Zufluß von

Lymphe und Chylus hat auch eine beträchtlichere Anzahl von Lymphzellen dem Blute zugeführt. Da sich nach dem Verlauf einiger Stunden das normale Zahlenverhältnis 1 : 360 wiederherstellt, so kann die Zeit, in welcher die weißen Blutzellen als solche unverändert im Blute leben, sich offenbar nur nach Stunden berechnen. Eine Anzahl von der Anatomie als Blutdrüsen bezeichneter drüsiger Organe: die Thymusdrüse und die Schilddrüse, scheinen sich mit den Lymphdrüsen an der Erzeugung weißer Blutkörperchen zu beteiligen, ebenso die oben erwähnten geschlossenen Follikel der Milz, die Milzbläschen (s. Abbildung, S. 303).

Für die Lebensgeschichte des Blutes ist die Entstehung seiner Formelemente gewiß von größter Bedeutung. Die Lebensgeschichte der weißen Blutkörperchen kennen wir nun, wir wissen, daß sie mit den Lymphzellen identisch sind, daß sie fortgesetzt aus ihren Bildungsstätten, namentlich aus den Lymphdrüsen, dem Blute zugeführt werden. Erst die neueste Zeit hat aber auch für den erwachsenen Organismus Aufschlüsse über das bis dahin vollkommen rätselhafte Herkommen der roten Blutkörperchen gewonnen, welche ihre Neuentstehung und ihr verhältnismäßig rasches Vergehen beweisen. Eine Anzahl auf das letztere Verhältnis sich beziehender Thatsachen war schon länger bekannt. Wir haben bereits angedeutet, daß in der Milz, namentlich aber in der Leber rote Blutkörperchen zu Grunde gehen, und haben oben den reichlich abgesonderten Farbstoff der Galle als verändertes Blutrot, sonach aus zerstörten roten Blutkörperchen stammend, kennen gelernt; der ebenfalls relativ massig auftretende rote Milzfarbstoff ist wohl, wie der rotgelbe Farbstoff der wässerigen Nierenausscheidung und der Farbstoff der Haut, der Augen &c., ebenso zu deuten. Wenn wir einen fortwährenden Verlust von roten Blutkörperchen im Menschenblut zu statuieren haben, so können wir uns das unter normalen Lebensbedingungen auffallende Gleichbleiben an Zahl, welches die Blutkörperchenzählungen ergeben, doch nur so erklären, daß der fortwährend erfolgende Verlust durch ebenso fortwährende Neubildung von roten Blutkörperchen ausgeglichen werde. Daß unter gewissen Umständen sehr rasch und massenhaft rote Blutkörperchen neu gebildet werden können, lehren die alten Erfahrungen bei größeren Blutverlusten sonst gesunder Menschen; nicht nur die Menge der Blutflüssigkeit, sondern auch die Anzahl der roten und weißen Blutkörperchen steigt, z. B. nach Aderlässen, oder nach Verblutungen, welche den Verwundeten bis an die Grenze des Todes gebracht haben, in kurzer Zeit wieder zur normalen Höhe.

So unbekannt die Herkunft und Bildungsstätte der roten Blutkörperchen des Erwachsenen lange waren, so früh hatte man die Entstehung der roten Blutkörperchen bei der Entwickelung der animalen Frucht erkannt. Die erste embryonale Anlage der großen Blutgefäße ist solid. Die runden, kernhaltigen Bildungszellen, welche in den noch soliden Gefäßanlagen sich befinden und in Form und Ansehen den übrigen Bildungszellen dieser Organe entsprechen, sollen sich nun beim Wachstum der blutführenden Organe voneinander lösen unter Ausscheidung einer Flüssigkeit, Blutplasma, und bald sehen wir sie, schon von Blutrot gefärbt, z. B. bei der ersten Kontraktionsbewegung des als hüpfender Lebenspunkt beschriebenen Herzens, als erste „embryonale rote Blutzellen“ in jenem, dem ersten Blutplasma, umherrollen. Die zuerst gebildeten roten Blutkörperchen der Säugetiere zeigen einen Kern, sind kugelig und ziemlich viel größer als die späteren bleibenden roten Blutkörperchen. Anfänglich scheinen sie sich durch Teilung zu vermehren und nehmen bald die typische Scheibengestalt an, wie sie die roten Blutkörperchen fast aller Säugetiere wie des erwachsenen Menschen besitzen. In den Gefäßen und wohl auch im Herzen der sich bildenden Frucht sind also im Anfang alle Bedingungen zur Bildung roter Blutkörperchen gegeben. Wir sehen sie aus kernhaltigen, wahren Bildungszellen entstehen. Auch die Bildung des Blutrotes erfolgt in diesen ersten Bildungsstadien der Frucht in der Herz- und Gefäßanlage zweifellos selbst. Vielleicht wirft auf diese Erscheinung die Erfahrung einiges Licht, daß schon im Eidotter sich zwei, wie das Blutrot, eisenhaltige Farbstoffe, ein roter und ein gelber, Luteïn genannt, finden.

Für den ausgebildeten Organismus hat man die Meinung lange festgehalten, daß sich die weißen Blutkörperchen an irgend einer freilich unbekannten Stelle in der Blutbahn in rote Blutkörperchen umwandeln sollten. Vermutungsweise dachte man dabei als Umwandlungsort vorzüglich an die Milz und an die Leber. Eine solche Umwandlung hat man jedoch noch niemals wirklich sicher beweisen können. Dagegen hat man nach starken Aderlässen in dem neugebildeten Inhalt der Blutgefäße zahlreiche jugendliche Blutkörperchen aufgefunden, die in ihrem Aussehen und Verhalten den kernhaltigen Blutkörperchen im embryonalen Herzen ähneln. In dem Blute der Milz und Leber sollen sich auch ohne Blutverluste stets solche „jugendliche oder embryonale" Blutzellen in bemerkbarer Menge finden; man glaubt daher annehmen zu dürfen, daß sie in diesen Organen entstanden seien. Da man aber bei Tieren die Milz operativ entfernen kann, ohne daß das Leben darunter leidet, so kann die Milz nicht, wie man wohl behauptet hat, der wesentliche Sitz der roten Blutkörperchenbildung sein. Dieser für die Erhaltung des Lebens so unerläßliche Vorgang ist wohl auf eine Anzahl in gleichem Sinne wirkender Organe und Organgruppen verteilt, unter welchen nach den neuesten Entdeckungen das rote Markgewebe im Inneren der Knochen bei höheren Tieren die hervorragendste Rolle spielt; im Marksaft haben sich sicher alle Zwischenstufen der aus dem Fruchtleben bekannten Bildungsgeschichte der roten Blutkörperchen aus kernhaltigen Zellen nachweisen lassen; neben farblosen finden sich auch rote Zellen mit Kernen, welche sich durch Teilung vermehren. Von den Bildungsstätten haben wir uns die roten Blutkörperchen in die Kapillaren einwandernd zu denken; das Wie ist noch nicht ganz sicher festgestellt.



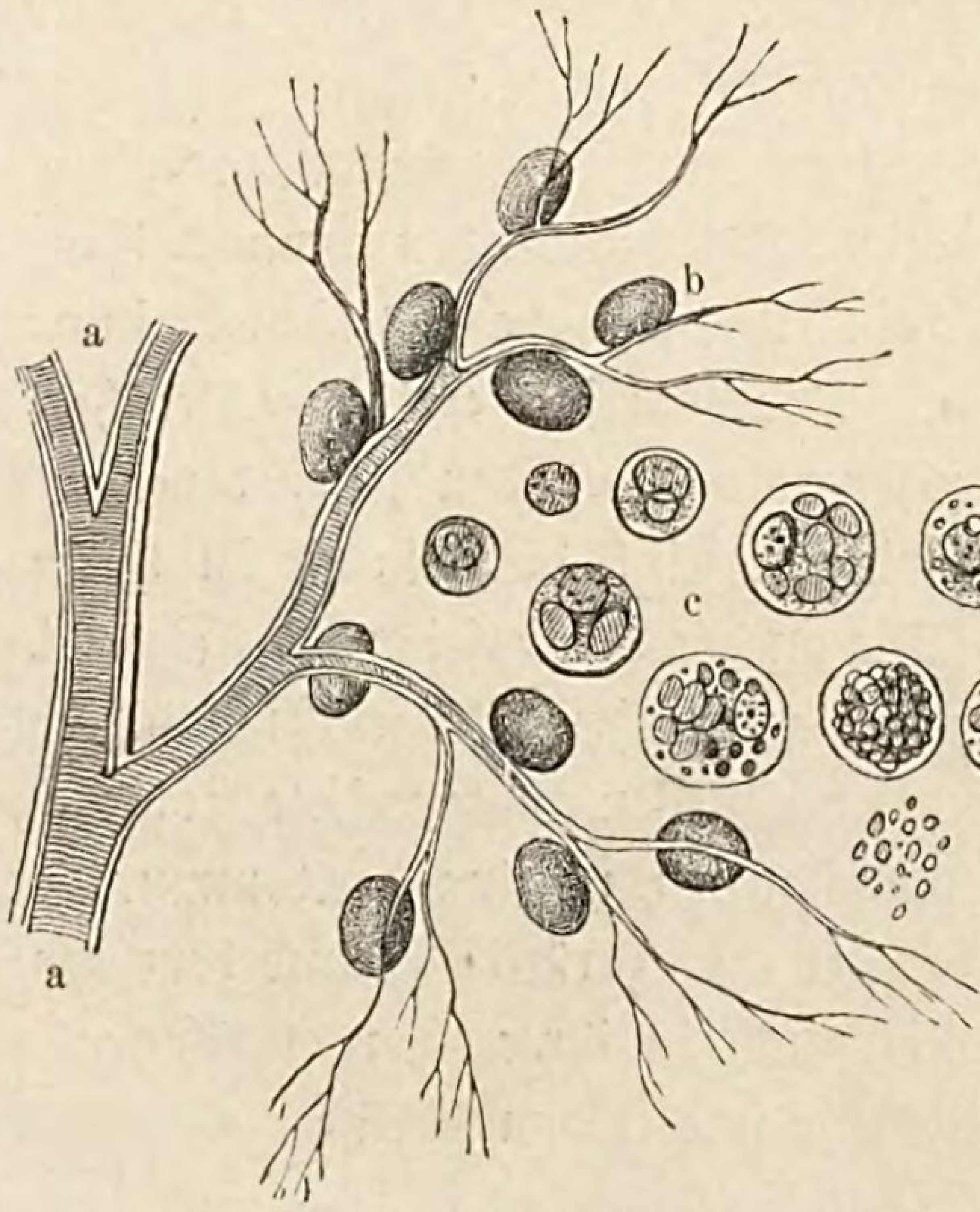
Die Milz. a) Milzarterie, b) Milzvene.

Durch ein interessantes Experiment hat man die Lebensdauer der roten Blutkörperchen im Blute näher zu bestimmen gesucht. Wie wir wissen, haben die roten Blutkörperchen der Vögel und Amphibien eine wesentlich andere Gestalt als die der Überzahl der Säugetiere und des Menschen. Man kann mit ziemlicher Sicherheit die runden, scheibenförmigen Blutkörperchen der meisten Säugetiere von den ovalen roten Blutkörperchen im Vogelblut unterscheiden, und diese Unterscheidung gelingt auch, wenn wir beide Blutarten miteinander gemischt haben. Man spritzte nun lebenden Hühnern etwas Säugetierblut in die Blutgefäße ein und suchte, nachdem man annehmen konnte, daß die neue Zumischung sich gleichmäßig im Gesamtblut der Vögel verteilt habe, in einem Tröpfchen Blute, welches man den Tieren entzog, die scheibenförmigen Säugetierblutkörperchen wieder auf. Man glaubte hoffen zu dürfen, indem man die Zeit bestimmte, bis alle Säugetierblutkörperchen wieder aus dem Körper des lebenden Vogels verschwunden seien, einen sicheren Rückschluß auf die normale Lebensdauer dieser Körperchen machen zu können. Es ergab sich, daß die Säugetierblutkörperchen nach Ablauf weniger Stunden der Mehrzahl nach aus dem Vogelblut verschwinden. Bei näherer Überlegung erscheint jedoch diese Beobachtung nicht als ein sicherer Beweis für die geringe Lebensfähigkeit der roten Blutkörperchen. Wir dürfen nicht vergessen, daß, abgesehen von der immerhin verschiedenen chemischen Zusammensetzung des Vogel- und Säugetierblutes, das erstere um 3—4° wärmer ist als das letztere. Wir versetzen bei dem beschriebenen Experiment die Säugetierblutkörperchen also gleichsam in ein heißes, ihnen fremdes Klima und ändern auch im übrigen ihre Lebensbedingungen. Infolge davon besitzen sie gewiß

eine wesentlich geringere Lebensenergie und Lebensdauer als in ihren heimatlichen Blutgefäßen. Nicht einmal das Blut von Tieren, welche zwar zu derselben zoologischen Klasse, aber nicht zu der gleichen Art, Spezies, gehören, behält, aus den Blutgefäßen des einen Tieres in die des anderen übergeleitet, seine volle Lebensenergie. Die Zusammensetzung des Blutes und seine normalen Lebenserscheinungen sind bedingt und getragen von dem physiologischen Zustand des Organismus, in welchem er entstanden ist, und zunächst nur für diesen berechnet.

Schließen wir unsere Betrachtungen über die Lebensgeschichte des Blutes mit einem Blick auf den anatomischen Bau der in den letzten Betrachtungen öfters erwähnten **Blutdrüsen**.

Unstreitig ist unter den Blutdrüsen die **Milz** (s. Abbildung, S. 302) besonders wichtig. Ihr anatomischer Bau nähert sie den freilich außerordentlich viel kleineren Lymphdrüsen. Die Milz des Menschen erscheint als ein blaurötlicher Körper von abgeplatteter, ovaler Gestalt unter einer festeren Hülle, bestehend aus weicher, schwammartiger Masse. Ihre Größe wechselt namentlich unter krankhaften Einflüssen höchst auffallend. Normal ist sie etwa 130 mm lang, 80—100 mm breit und 30—40 mm dick. Ihre Gestalt hat eine entfernte Ähnlichkeit mit der einer Kaffeebohne; wie eine solche, so zeigt auch die Milz auf ihrer Innenfläche einen in der Richtung von oben nach unten, aber nicht ganz in der Mittellinie verlaufenden Einschnitt, den Hilus; an dieser Stelle treten die Blut- und Lymphgefäße mit den Nerven in das Organ ein. Die Milz wird unter dem sie überziehenden Bauchfell noch von einer weißen, ziemlich festen, eigenen Faserhülle, aus Bindegewebe mit elastischen Fasern und einzelnen Muskelfasern bestehend, überkleidet, welche eine große Anzahl von Fortsätzen in das Innere des eigentlichen Milzgewebes abgibt, die sich sehr mannigfach verästeln und untereinander zusammenhängen. Auf diese Weise entstehen im Inneren der Milz zahlreiche untereinander kommunizierende Hohlräume von unregelmäßiger Gestalt. Das in diesen Hohlräumen liegende weiche eigentliche Milzgewebe besteht mikroskopisch aus immer enger und feiner werdenden offenen Hohlräumen der gleichen Art wie die oben beschriebenen; in den kleinsten, den Lymphfollikeln in gewissem Sinne entsprechend, liegen die Milzzellen. Diese sind teils farblos und ähneln dann den Lymphzellen, teils sind sie rot gefärbt: rote Blutkörperchen in allen Stadien der Auflösung und des Zerfalles (oder der Bildung?), einige in größere farblose Zellen eingeschlossen. Namentlich an den feinsten Schlagaderzweigen, die sich in der Milz verästeln, finden sich weiße, rundliche Körperchen, **Milzbläschen**, anhängend (s. obenstehende Abbildung), mit freiem Auge sichtbar, welche im Bau und Inhalt mit den kleineren Lymphfollikeln übereinstimmen. Die Hauptmasse des weicheren Milzgewebes wird aber von den Blutgefäßen gebildet. Die Milzschlagaderzweige lösen sich in Pinsel feinster Ästchen auf, welche in Kapillargefäße übergehen. Die Blutadern, Venen, der Milz sind weit und bilden mit ihren feinsten Zweigen ein reiches Maschenwerk von relativ noch weiten Hohlräumen, in welche die Arterienkapillaren direkt einmünden. Ob offene Verbindungen der Blutgefäße mit den zellenerfüllten Milzhohlräumen bestehen, in ähnlicher Weise, wie wir die Verbindung der Lymphgefäße mit den Follikeln beschrieben haben, ist zwar vielfach angenommen, aber doch auch heute noch nicht



Einige Formbestandteile der Milz.
a) Arterienzweig, an dessen feinen Ästchen die ovalen Milzbläschen (b) ansitzen, c) Milchzellen, zum Teile Blutkörperchen enthaltend.

vollkommen sicher erwiesen. Die von vielen Seiten mit vollster Sicherheit angenommenen mikroskopischen Punktöffnungen, die Stomata oder Stigmata der Kapillarwandungen, welche den Ein- und Austritt von Blutkörperchen auch in anderen Körperregionen und Organen möglich machen sollen, reichen vielleicht auch zur Erklärung des Ein- und Austrittes roter und weißer Blutkörperchen in die Maschenräume des Milzgewebes aus. Die zahlreichen Lymphgefäße und Nerven der Milz verlaufen größtenteils in der Richtung der Milzschlagadern.

Das Knochenmark, welches wir zum Teil einer „Blutdrüse" entsprechend funktionieren fanden, erscheint im ganzen als eine fette Substanz, welche in den langen Röhrenknochen gelblich, in den schwammartigen Knochen dagegen mehr oder weniger rot erscheint. Nur dem roten Knochenmark wird eine Blutkörperchenbildung zugeschrieben. Mikroskopisch unterscheiden wir in dem Knochenmark größere vielkernige Riesenzellen und kleinere körnig erscheinende Zellen, außerdem kleinere rundliche, helle Zellen, Zellen von sternförmiger Gestalt und eigentliche Fettzellen; alle diese Zellformen werden zusammengehalten durch ziemlich zartes, weitmaschiges Bindegewebe, dem Netzgerüst, Reticulum, den Lymphdrüsen in gewissem Sinne ähnlich, und durchtränkt mit dem Marksaft. Die Räume des „Reticulum" sollen mit den Blutgefäßen in offener Verbindung stehen. Der Marksaft enthält zahlreiche Zellen, teils den Lymphzellen entsprechend, teils jene „unreifen roten Blutzellen", von denen wir oben gehandelt haben, welche nach dem Gesagten von hier, wie es scheint, direkt in die Blutbahn gelangen können.

Die an der Vorderseite des Halses liegende, für die Blutzirkulation im Kopfe und Gehirn durch ihre zahlreichen Blutgefäße und Blutgefäßnetze wichtige Schilddrüse besitzt als Drüsenelemente mit Zellen austapezierte Hohlräume von 0,01 bis 0,04 mm Durchmesser, welche, wie die der Lymphdrüsen, miteinander kommunizieren sollen. Auch die Thymusdrüse, welche sich nach der Geburt rasch zurückbildet und dem erwachsenen Organismus fehlt, ähnelt im Bau wie wahrscheinlich auch in ihrer oben erwähnten physiologischen Thätigkeit den großen Lymphdrüsen. Schilddrüse und Thymusdrüse rechnet die menschliche Anatomie zu den Blutdrüsen; über ihre physiologische Thätigkeit ist jedoch noch wenig bekannt.

Vergleichende anatomische Betrachtungen.

Der Mensch lebt mit den gleichen Organen wie die ihm nächststehenden Tiere, die Säugetiere. Wir beschränken im folgenden unsere vergleichenden Betrachtungen auf die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen dem Menschen und, gleichsam als Repräsentanten des Tierreiches, den menschenähnlichen Affen.

Die Organe des Blutlebens, der Atmung und Verdauung bei den menschenähnlichen Affen sind den entsprechenden Organen des Menschen in hohem Grade ähnlich. Es existieren zwar, wie neuerdings Rüdinger wieder nachgewiesen hat, Unterschiede, doch halten sie sich zum größten Teil in den Grenzen von Proportionsdifferenzen.

Das Blutgefäßsystem der Menschenaffen ist übrigens bisher noch keineswegs in ausreichendem Maße wissenschaftlich bearbeitet. Bemerkenswert erscheint es vor allem, daß das Herz der eigentlichen menschenähnlichen Affen, Gorilla, Schimpanse und Orang-Utan, dem des Menschen sehr ähnlich ist und, wie von Bischoff und andere hervorgehoben haben, dieselben Arterienursprünge wie das letztere besitzt. R. Hartmann macht auf einige Abweichungen des arteriellen Gefäßverlaufes im Körper aufmerksam, von denen aber doch nur die bei Gorillas bereits hoch

oben am Schenkelbogen von der Schenkelarterie abzweigende und bis zum Fußrücken verlaufende Schlagader eigentlich streng typisch für die Menschenaffen scheint. Über die Blutdrüsen findet sich angemerkt, die Milz sei beim Gorilla und Schimpanse hoch, dagegen niedriger und breit bei dem Orang-Utan, übrigens menschenähnlich. Die Schilddrüsenhälften sind gewöhnlich durch ein Mittelstück verbunden.

An den Atmungsorganen treten einige deutlichere Unterschiede zu Tage. Über den Bau des Kehlkopfes handeln wir später, hier bemerken wir nur, daß sein Bau bei den eigentlichen Menschenaffen doch nur wenig von dem des Menschen sich entfernt; immerhin werden sich uns bei näherer Vergleichung Differenzen ergeben, welche sich auf die verschiedenen Aufgaben dieses für die Sprechfunktionen so bedeutsamen Organes beziehen. Namentlich auffallend ist in dieser Hinsicht, daß der vordere, eigentliche Stimmteil der Stimmritze, welche dem Menschen zur Lautmodulation, z. B. beim Singen und Sprechen, dient, bei den Menschenaffen nur kurz und nicht länger ist als der Atmungsabschnitt der Stimmritze. Dagegen hängen bei allen drei Arten mit den Vertiefungen der Morgagnischen Taschen, jenen Vertiefungen zwischen den falschen und wahren Stimmbändern, weite, häutige, dehnbare Hautsäcke, als Kehlsäcke oder Luftsäcke bekannt, zusammen. Meist ist der rechte Kehlsack größer als der linke. Die Kehlsäcke des Schimpanse sind etwas weniger stark ausgebildet als die des Orang-Utan und Gorilla, bei welchen dieses den Stimmschall verstärkende Organ sich deutlich in eine obere und untere Abteilung gliedert. Beim Gorilla und Orang-Utan erstrecken sich die Kehlsäcke hinter dem Kopfrückenmuskel bis zur Schulter und nach vorn bis an den großen Brustmuskel. Beim alten Orang-Utan hängen die vorderen Abschnitte der beiden Kehlsäcke als eine große, schlaffe Hautfalte vom Halse gegen die Brust herab (s. Abbildung im zweiten Bande). Während bei dem Menschen die beiden Luftröhrenhauptäste von wenig verschiedener Weite sind, zeigt sich der linke Luftröhrenhauptast bei den Menschenaffen meist bemerkbar enger als der rechte, welcher nach Äby bald nach seinem Abgang, anders als bei dem Menschen, noch einen seitlichen großen Ast abzweigt. Die rechte Lunge des Menschen zerfällt in drei, die linke in zwei Lappen. Bei den Menschenaffen scheinen in dieser Beziehung häufiger als bei dem Menschen individuelle Unterschiede aufzutreten. Am Gorilla und Schimpanse hat man mehrfach die gleiche Lappung der Lungenflügel wie bei dem Menschen beobachtet. R. Hartmann sah einmal an einem linken Lungenflügel des Gorilla drei Lappen, von Bischoff an einer rechten Schimpanselunge vier Lappen; bei einem Orang-Utan beobachtete Virchow an beiden Lungenflügeln gar keine deutliche Lappung, nur je eine schwache Einkerbung vom Rande her.

Owen teilte schon nähere Untersuchungen über die Verdauungsorgane der Menschenaffen, namentlich des Gorilla, mit, welche in der Folge vielfach bestätigt und erweitert wurden. Beim Orang-Utan ist nach von Bischoff und Rückert das Zäpfchen (Uvula) häufig unausgebildet; R. Hartmann beobachtete aber an einem Exemplar sowohl ein deutliches Zäpfchen als auch Gaumenbogen und einen gewölbten Zungengrund. Die Zunge der Menschenaffen ist schmal, die Zungenwärzchen werden bei dem alten Gorilla hornartig hart, die Wallwärzchen sind weniger zahlreich; letztere stehen bei dem Gorilla wie bei dem Menschen in Form eines nach vorn offenen V, bei dem Schimpanse in der eines T oder + angeordnet. Der Magen ist menschenähnlich, die Länge des Darmes zeigt ziemlich auffallende Unterschiede, was wir übrigens auch für den Menschen hervorgehoben haben. Der weite und lange, im Bauchfell frei gelegene Blindsack besitzt einen besonders beim Orang-Utan sehr langen, wurmförmigen Fortsatz, der sich manchmal schneckenförmig aufwindet. Die bei dem Menschen so stark entwickelten Querfalten der Dünndarmschleimhaut, die Valvulae conniventes Kerkringii, fehlen nach Owen und Virchow. An der Unterfläche der Leber vermißte Bischoff bei dem Gorilla, was nach R. Hartmann auch für die beiden anderen Menschenaffen gilt, die H-förmige Anordnung der Furchen; die Leber zerfällt in

zwei Hauptlappen, und beim Gorilla findet sich, wenn auch nicht ausnahmslos, noch eine weitere Lappung von den Rändern der Leber her einschneidend. Die Gallenblase scheint bei dem Schimpanse beträchtlich größer als bei dem Menschen und bei den beiden anderen Menschenaffen. Bei dem Orang-Utan fand dagegen Virchow die Leber „ganz wie bei dem Menschen gebildet". An den Nieren eines Orang-Utan vermißte Virchow eine Trennung in Renculi, Malpighische Pyramiden, und daher auch eine Ausbildung der Columnae Bertini, der Bertinischen Pfeiler, d. h. der sich zwischen jene trennend einschiebenden Fortsetzungen der Rindensubstanz. Es zeigt sich zwar die Marksubstanz durch eingeschobene Gefäße in mehrere Lappen geteilt, jedoch finden sich keine getrennten Nierenkelche (Calices) und nur eine einzige sehr breite und glatte Papille. Dieser Bau weicht sonach recht wesentlich von dem des Menschen ab.

Immerhin sehen wir also nicht unwesentliche Differenzen zwischen Mensch und Menschenaffe im inneren Bau dieser Organgruppe, welche sich durch eingehendere vergleichende Untersuchungen nicht verringern, sondern gewiß noch vermehren werden.

---

9. Ernährung. Nahrungsmittel. Animale Wärme.

Inhalt: Die Gesetze der Ernährung. — Nahrungsmenge. — Die Ernährung in ihrer ethnischen Bedeutung. — Hunger und Durst. — Der Nahrungsmangel als ethnisches Moment. — Die Nahrungsmittel des Menschen. — Die Genußmittel und Gewürze. — Die animale Wärme des Menschen. — Einfluß extrem kalter und warmer Temperaturen auf den animalen Organismus, speziell auf den Menschen.

Die Gesetze der Ernährung.

Wenn es früher erlaubt war, den Menschen in Beziehung auf seine Wärmeerzeugung und mechanische Kraftproduktion mit einem geheizten Ofen zu vergleichen, wobei man die Nahrungsstoffe als Heizmaterial bezeichnete, so genügt als Vergleichsobjekt auf dem heutigen Standpunkt der Wissenschaft vom Leben des Menschen, auch für die im Verhältnis mit den höheren animalen Funktionen doch so einfachen Vorgänge der chemischen Stoffbewegung im lebenden Organismus, kaum mehr eine jener kompliziertesten kalorischen Maschinen, auf welche sich die moderne Technik, das Lieblingskind unseres Jahrhunderts, so viel zu gute thut. Bei den kalorischen Kraftmaschinen wird in relativ einfacher Weise die im Heizmaterial aufgespeicherte Kraft durch die Feuerung für die Maschinenzwecke verwendbar gemacht. Wie kompliziert erscheint dagegen schon der Prozeß der Nahrungszufuhr und der Nahrungsaufnahme bei dem menschlichen Organismus. An diese vorbereitenden Vorgänge schließt sich dann erst die Reihe jener Wandlungen und Wanderungen an, welche die im Organismus aufgenommenen Stoffe für die Ermöglichung der mechanischen Kraftleistungen der einzelnen Organe durchzumachen haben. Und wie überraschend fein ist die Anwendung des Ernährungsprinzips auf die unablässig schwankenden Einzelbedürfnisse der verschiedenen Organe!

Es ist ein dynamischer, aus sich annähernd ausgleichenden Auf- und Abwärtsschwankungen kombinierter Gleichgewichtszustand, in welchem der lebende Körper des Menschen mit den äußeren Lebensbedingungen steht. Das scheinbare Gleichbleiben des Organismus in einer längeren Beobachtungsperiode verdeckt nur für eine oberflächliche Betrachtung den ununterbrochen fortgehenden Wechsel. Wenn wir den Organismus mit einer kalorischen Maschine vergleichen, so dürfen wir doch nicht vergessen, daß dieser beliebte Vergleich von den speziellen Einrichtungen der „animalen Maschine" nur eine höchst schematische Vorstellung erwecken kann.

Reguliert wird das auf dieses dynamische Gleichgewicht bezüglich seiner Leistungen basierte Getriebe des menschlichen Organismus von den Organen des Körpers selbst, im letzten Grunde von den Zellen, welche den Organismus aufbauen. Die Gesamtthätigkeit des Organismus ist, wie wir schon bei den Besprechungen über das Leben der Zellen als selbständiger animaler Wesen hervorgehoben haben, eine Summe, welche sich aus den Einzelthätigkeiten der den Organismus aufbauenden Zellen zusammensetzt. Die einzelnen Zellen und Organe stehen im Gesamtorganismus im Verhältnis einer wechselweisen Abhängigkeit; indem sich ihre Thätigkeiten gegenseitig regulieren, entsteht das wunderbare dynamische Gleichgewicht des Gesamtkörpers und aller seiner Teile. Keine Zelle unseres Körpers kann die Intensität ihrer Lebensthätigkeiten verändern, ohne dadurch auch die Lebensäußerungen und die denselben zu Grunde liegenden physikalischen und chemischen Vorgänge zunächst in den Nachbarzellen entsprechend umzugestalten; und da alle Zellen durch die Vermittelung des Nervensystems und des Säftekreislaufes untereinander zu einer höheren Einheit verknüpft sind, so sehen wir Veränderungen in den einzelnen Zellen und Organen sofort Veränderungen in dem Gesamtverhalten des Organismus veranlassen, welche regulatorische Einrichtungen in entsprechende Thätigkeit versetzen. Indem die Zelle durch Steigerung ihrer Lebensarbeit mehr Stoffe zersetzt und dadurch mehr chemische Körper hervorbringt, welche Sauerstoff rasch und leicht binden, entzieht sie dem in den Kapillargefäßen sie umströmenden Blute mehr Sauerstoff, das Blut wird dadurch ärmer an diesem notwendigsten Lebensbedürfnis. Die Menge Sauerstoff, welche das Blut enthält, kann durch einen Sauerstoffmehrverbrauch an einer Stelle des Organismus rasch beeinflußt werden. Wird dem Gesamtblut doch schon bei jedem Kreislauf unter den Verbrauchsbedingungen relativer Organruhe etwa ein Drittel seines ganzen Sauerstoffvorrates entzogen. Die Zeit für die Vollendung eines einmaligen Kreislaufes des Blutes beträgt nur etwa 20 Sekunden; es genügt also eine sehr kurze Zeit, um bei gesteigertem Verbrauch und gleichbleibender Aufnahme von Sauerstoff in der Atmung eine relative Verarmung des Gesamtblutes an Sauerstoff zu erzeugen. Hand in Hand damit tritt im Blute eine Vermehrung des Kohlensäuregehaltes, überhaupt des Gehaltes an Zersetzungsprodukten der Zellenstoffe ein, indem diese von der stärker arbeitenden Zelle, von dem stärker arbeitenden Organ dem vorüberströmenden Blute in reichlicherer Menge übergeben werden. Beide Momente der chemischen Veränderung des Blutes verbinden sich, um die Lebensthätigkeiten aller Zellen des Organismus zu beeinflussen. Aber namentlich fein reagieren auf die chemischen Veränderungen des Blutes gewisse Zellen und Zellengruppen in den nervösen Zentralorganen, welche die Bewegungen der Lunge und des Herzens regulieren. Diese geraten durch die ihnen gegenüber als Reize wirkenden Blutveränderungen in erhöhte Thätigkeit, deren Resultat eine Steigerung der gesamten Atemthätigkeit und eine Beschleunigung des Gesamtblutstromes ist. Das Blut, welches in dem Organ, dessen Lebensthätigkeit erhöht ist, seinen Sauerstoff rascher verliert, strömt nun in der Zeiteinheit öfter durch die Lungen, wo es seinen Sauerstoffverlust ausgleicht, und kann, dem gesteigerten Sauerstoffverbrauch in dem betreffenden Organ entsprechend, diesem in derselben Zeit durch die Beschleunigung der Blutstromgeschwindigkeit mehr Sauerstoff zuführen. Die gleichzeitig gesteigerte Lüftung in den stärker und rascher arbeitenden Lungen scheidet die mehr aus dem Organ an das Blut abgegebene Kohlensäure aus, und ebenso arbeiten auch alle anderen Ausscheidungsdrüsen unter der gesteigerten Zirkulationsgeschwindigkeit in erhöhtem Maße. So tritt ein neuer Zustand des dynamischen Gleichgewichtes im Gesamtorganismus ein, der sich sofort wieder modifiziert, wenn sich die Lebensbedingungen in irgend einem der Organe neuerdings verändern.

Der eben geschilderte Regulierungsvorgang ist nur einer unter sehr vielen, über welche der Organismus verfügt. So verändern sich, um noch auf ein hier naheliegendes Beispiel hinzuweisen, die Weite und Durchlässigkeit der Blutgefäße in den arbeitenden Organen. Die

Blutkapillaren erweitern sich, so daß das arbeitende Organ nicht nur relativ durch die im allgemeinen gesteigerte Blutgeschwindigkeit, sondern auch absolut mehr Blut als in der Ruhe erhält; und gleichzeitig kann das stärker arbeitende Organ infolge einer gesteigerten Durchlässigkeit der Kapillarwandungen, hervorgerufen durch die während der gesteigerten Thätigkeit des Organs eintretende chemische Umwandlung der die Kapillaren umspülenden Organflüssigkeiten (z. B. durch Kohlensäureanhäufung), in der gleichen Zeit dem durchströmenden Blut mehr Stoffe entnehmen.

Ist in unserem Körper die Regulierung des dynamischen Gleichgewichts zwischen Stoffverbrauch und Ersatz eine vollkommene, so zeigt sich das für unser subjektives Gefühl als der Zustand eines körperlichen Wohlbehagens. Sowie das Gleichgewicht irgendwie gestört ist, fühlen wir eine Störung dieses Behagens, wir haben dann den Verhältnissen entsprechend Lufthunger, oder Hunger nach fester Nahrung, oder Durst. Diese subjektiven Gefühle begleiten die Veränderungen im Reizzustande jener zentralen Nervenzellen, welche an sich automatisch, wie ein Regulator am Uhrwerk, die Bewegungen und Thätigkeiten in feinster Abstufung einleiten und erhalten, welche der Organismus zur Wiederherstellung des durch die Lebensbedingungen beständig gestörten Gleichgewichts bedarf.

Rekapitulieren wir noch einmal das einfache und doch so wirkungsvolle Prinzip: Je nach der auf- und abwärts schwankenden Höhe der Lebensintensität der Zelle, des Organs, sehen wir Zelle und Organ mehr Stoffe verbrauchen und entsprechend mehr aus der Säftemasse, dem Blut, sich aneignen; gleichzeitig treten mehr Zersetzungsstoffe der Zelle, des Organs: Kohlensäure, Phosphorsäure, Fleischmilchsäure, Kalisalze, Harnstoff &c., in das Blut ein. Diese chemischen Veränderungen des Blutes wirken in ihrer Verbindung oder einzeln auf nervöse regulatorische Zentren ein, und diese zwingen mit steigender Gewalt den Organismus, seine Verluste durch Luft- und Nahrungsaufnahme auszugleichen, und besorgen dadurch selbst die Entfernung jener die Organthätigkeiten störenden oder wenigstens verändernden Zersetzungsprodukte der Gewebsstoffe und beseitigen den Sauerstoffmangel. Diese regulatorischen Vorgänge sind im Prinzip vollkommen unwillkürlich, sie entspringen direkt aus den mechanischen Einrichtungen der animalen Maschine.

Was wir für die einzelne Zelle und das Organ gesagt haben, behält auch für den gesamten Zellenkomplex des Organismus seine Geltung. Die Gesamtsumme lebendiger Kräfte, über welche der menschliche Organismus zum Zweck seiner mechanischen, physiologischen, Leistungen gebietet, wird, wie wir wiederholen, ihm geliefert durch den chemischen Stoffwechsel, mit anderen Worten durch die mit dem Lebensvorgang aller animalen Wesen verbundenen, meist unter Sauerstoffaufnahme vor sich gehenden chemischen Umgestaltungen der Stoffe, welche, aus der Nahrung stammend, die Organe und Flüssigkeiten des lebenden Organismus zusammensetzen.

Die Summe der lebendigen Kräfte, welche im menschlichen Organismus während einer Zeitperiode thätig sind: Wärme, Elektrizität, chemische Kraft, mechanische Massenbewegung, ist äquivalent der Spannkraftsumme einer gewissen in letzter Instanz aus der Nahrung stammenden Menge organisch-chemischer Bestandteile des menschlichen Körpers, welche im Stoffwechsel meist unter Aufnahme von Sauerstoff durch ihre „organische Oxydation“ diese Summe lebendiger Kräfte liefern. Der Körper lebt, d. h. arbeitet, auf Kosten der Spannkräfte aller ihm normal zur Verfügung stehenden, im Lebensprozeß sich mit Sauerstoff verbindenden Stoffe. Wenn die Gesamtsumme der vom Menschenkörper produzierten lebendigen Kräfte in einer Zeitperiode wächst, so entspricht dieser gesteigerten Kraftproduktion eine in äquivalentem Maße gesteigerte, die lebendigen Kräfte liefernde organische Oxydation von Körperbestandteilen.

Für die Erzeugung lebendiger Kraft im animalen Organismus könnte es nach dem Gesagten auf den ersten Blick ziemlich gleichgültig erscheinen, welche organisch-chemischen, durch die Nahrung zugeführten Stoffe der organischen Oxydation unterliegen, da wir soeben direkt

hervorgehoben haben, daß der Organismus alle ihm zur Verfügung stehenden, zur organischen Verbrennung tauglichen Stoffe dazu verwendet. Es tritt hier aber eine wesentliche Beschränkung teils dadurch ein, daß im Organismus zur Arbeitsleistung irgend eines Organs die dieses Organ selbst aufbauenden Stoffe verwendet werden, teils dadurch, daß Wachstum und Ernährung des Organs durch die Arbeit des betreffenden Organs selbst bedingt werden, denn nur das arbeitende Organ wird normal erhalten und wächst. Zum Aufbau des Organs wie zu seiner Erhaltung bedarf es aber einer bestimmten chemischen Stoffmischung: Eiweißstoffe, Wasser und Blutsalze; diese Stoffe dürfen daher in der Nahrung niemals fehlen. Die Quantität, in welcher sie jeweilig in der Nahrung enthalten sein müssen, richtet sich nach dem Körperzustande des zu Ernährenden und nach der Qualität und Quantität seiner Organarbeitsleistung. Ist der Ersatz durch die Nahrung bei einem bestimmten Körperzustand und bei einer bestimmten Arbeitsleistung ein vollkommener, hat sich mit anderen Worten ein Beharrungszustand in den Leistungen des menschlichen Körpers eingestellt, so ist innerhalb der Grenzen, in welchen sich die verschiedenen Nährstoffe mit Rücksicht auf ihre mögliche Kraftproduktion im lebenden Organismus vertreten können, nicht nur die Quantität, sondern auch die Qualität des Stoffverbrauchs des Organismus eine konstante. Die Nahrung muß dann eine ganz bestimmte Menge organbildender Stoffe: Eiweiß, Wasser, Blutsalze, enthalten, da die Organe bei ihrer Thätigkeit ebensoviel von diesen Stoffen verlieren, als sie durch das infolge ihrer Arbeitsleistung eintretende Neuwachstum wiedergewinnen.

Ist dem jeweiligen Bedürfnis der Ernährung nach organbildenden Stoffen in der Nahrungszufuhr genügt, so kann die Zusammensetzung der zur Produktion der lebendigen Kräfte im Organismus dienenden Nährstoffe innerhalb der Grenzen schwanken, in welchen sich die verschiedenen Stoffe in dieser Beziehung vertreten können. In der Mechanik ist es gebräuchlich, die Summe der Arbeitsleistung in eine einzige Kräfteform, und zwar in Wärme, umzurechnen, aus welcher nicht nur leicht alle übrigen Kräfteformen berechnet werden können, sondern welche wirklich in den Maschinen der modernen Technik vorwiegend zur Hervorbringung anderer gewünschter mechanischer Leistungen Verwendung findet. In diesem Sinne werden die Heizmaterialien, welche die Technik zur Hervorbringung ihrer mechanischen Leistungen benutzt, nach ihrem Heizwert, d. h. nach der Wärmemenge gruppiert, welche sie bei ihrer Verbindung mit Sauerstoff, bei der Verbrennung, liefern. In demselben Sinne bestimmt die Physiologie die Wärmemengen, welche bei der Verbindung der Nährstoffe mit Sauerstoff frei werden. Je größer diese durch Verbrennung zu entwickelnden Wärmemengen sind, desto größer ist die Summe lebendiger Kraft, welche ein bestimmtes Gewicht des betreffenden Nahrungsmittels dem Körper zuführt. Sehen wir einen Augenblick davon ab, daß die Verdauungsarbeit für die verschiedenen Nährstoffe, wie wir sahen, offenbar einen verschieden großen Kraftaufwand von seiten des Organismus verlangt, daß ihre Verdaulichkeit eine verschiedene ist, so läßt sich für die erste Orientierung über die obwaltenden Verhältnisse zur Bestimmung des Arbeitswertes der verschiedenen Nährstoffe für den menschlichen Organismus die Wärmesumme benutzen, welche die gleichen Quantitäten verschiedener reiner Nährstoffe bei ihrer Verbindung mit Sauerstoff, bei ihrer Verbrennung, entwickeln. Die Physiologie bestimmt also den „Heizwert“ der Nahrungsstoffe für die Arbeitsmaschine des menschlichen Organismus ganz in dem gleichen Sinne, in welchem die Technik den Heizwert der verschiedenen Brennmaterialien für ihre Arbeitsmaschinen und Motoren bestimmen muß. Es wird bei den Betrachtungen über die Verbrennungswärme der Nährstoffe stillschweigend vorausgesetzt, daß die Verbindung ihrer chemischen Elemente bei der Verbrennung mit Sauerstoff die gleiche Kraftsumme liefert wie die Erzeugung der gleichen Verbrennungsprodukte, namentlich Kohlensäure und Wasser, durch die „organische Oxydation“, d. h. durch den neuerdings wieder vielfach mit „Gärungen“ verglichenen Vorgang des Stoffwechsels im lebenden Organismus, eine Annahme,

über deren volle Berechtigung die Akten freilich noch lange nicht geschlossen sind. Zweifellos besteht die „organische Oxydation" der Hauptsache nach nicht in einer direkten Verbindung von Kohlenstoff (und Wasserstoff) mit Sauerstoff zu Kohlensäure (und Wasser). Der Sauerstoff tritt in die Organstoffe ein und bildet wohl zunächst leicht „spaltbare Substanzen", welche dann, ohne daß weiter Sauerstoff dazu nötig wäre, unter Kohlensäurebildung zerfallen, wobei, ähnlich wie bei der Alkoholgärung des Zuckers, Wärmeentwickelung stattfindet.

Man pflegt verschiedene Wärmemengen in der Art zu messen, daß man jene Wärmemenge als Einheit, **Wärmeeinheit**, annimmt, durch welche 1 kg Wasser von 0° auf 1° C. erwärmt wird. Verbrennen wir 1 kg Traubenzucker vollkommen zu Kohlensäure und Wasser, so erhalten wir 3277 Wärmeeinheiten. Sehr ähnlich ist die Wärmemenge, welche Rohrzucker bei vollkommener Verbrennung liefert; dagegen steigt die Wärmemenge für die gleiche Quantität trockenen Eiweißes sehr bedeutend und noch weit mehr für reines Fett. Die von den drei wichtigsten organischen Nährstoffen: Zucker, Eiweiß, Fett, bei ihrer vollständigen Verbrennung gelieferten Wärmemengen verhalten sich zu einander etwa wie 3:5:9; das Fett entwickelt die dreifache Wärmemenge des Zuckers, das Eiweiß dagegen nur $1^{2}/_{3}$mal mehr als letzterer. Dabei ist noch zu beachten, daß zwar der Zucker und das Fett im Organismus wie in der Verbrennung außer demselben gerade auf in Kohlensäure und Wasser zerfallen, während von dem Eiweiß zum Teil noch organisch-chemische Stoffe übrigbleiben und in den Nierenausscheidungen entfernt werden, welche einen nicht unbedeutenden Brennwert besitzen; eine Gewichtseinheit Harnstoff liefert z. B. 2206 Wärmeeinheiten. Im Organismus kommt also gewiß nicht die ganze Summe der im Eiweiß zugeführten Spannkräfte zur Wirkung. Da das Fett eine größere Verdauungsarbeit von seiten des Organismus verlangt, welche von dem Kräftewert des eingeführten Fettes in Abrechnung kommt, so können wir uns nicht darüber wundern, wenn die Physiologen finden, daß eine Gewichtseinheit Fett nicht wirklich, wie die Bestimmung der Verbrennungswärme vermuten ließ, dreimal soviel Wert für den Organismus als Nahrungsmittel besitzt wie die gleiche Gewichtsmenge Zucker. Der Wert des Fettes als kraftproduzierenden Nahrungsmittels ist in der Praxis kaum doppelt so groß wie der des Zuckers, vielleicht ist das Verhältnis nur wie 170 : 100.

Die speziellen Ernährungsfragen, die so wesentlich in das Leben des Einzelnen wie des Staates einschneiden, liegen hier außerhalb unseres nächsten Gesichtskreises. Von größerer Bedeutung für die uns hier beschäftigenden Aufgaben ist dagegen noch ein Blick auf die Menge der einfachen Nährstoffe, welche der Mensch zu seiner Erhaltung bedarf, und auf die zusammengesetzten Nahrungsmittel, in denen er dieselben zu genießen pflegt.

Als wesentlichste „einfache Nährstoffe" lernten wir kennen, außer Wasser und den unverbrennlichen Blutsalzen, Eiweißstoffe, Fette, Kohlehydrate (die Stärkemehl- und Zuckerarten). Die beistehende Tafel „Nährwert der Nahrungsmittel" gibt in graphischer Darstellung einen ausreichenden Überblick über die Mengenverhältnisse, in welchen die „einfachen Nährstoffe" in den wichtigsten „zusammengesetzten Nahrungsmitteln" des Menschen vertreten sind.

Nahrungsmenge.

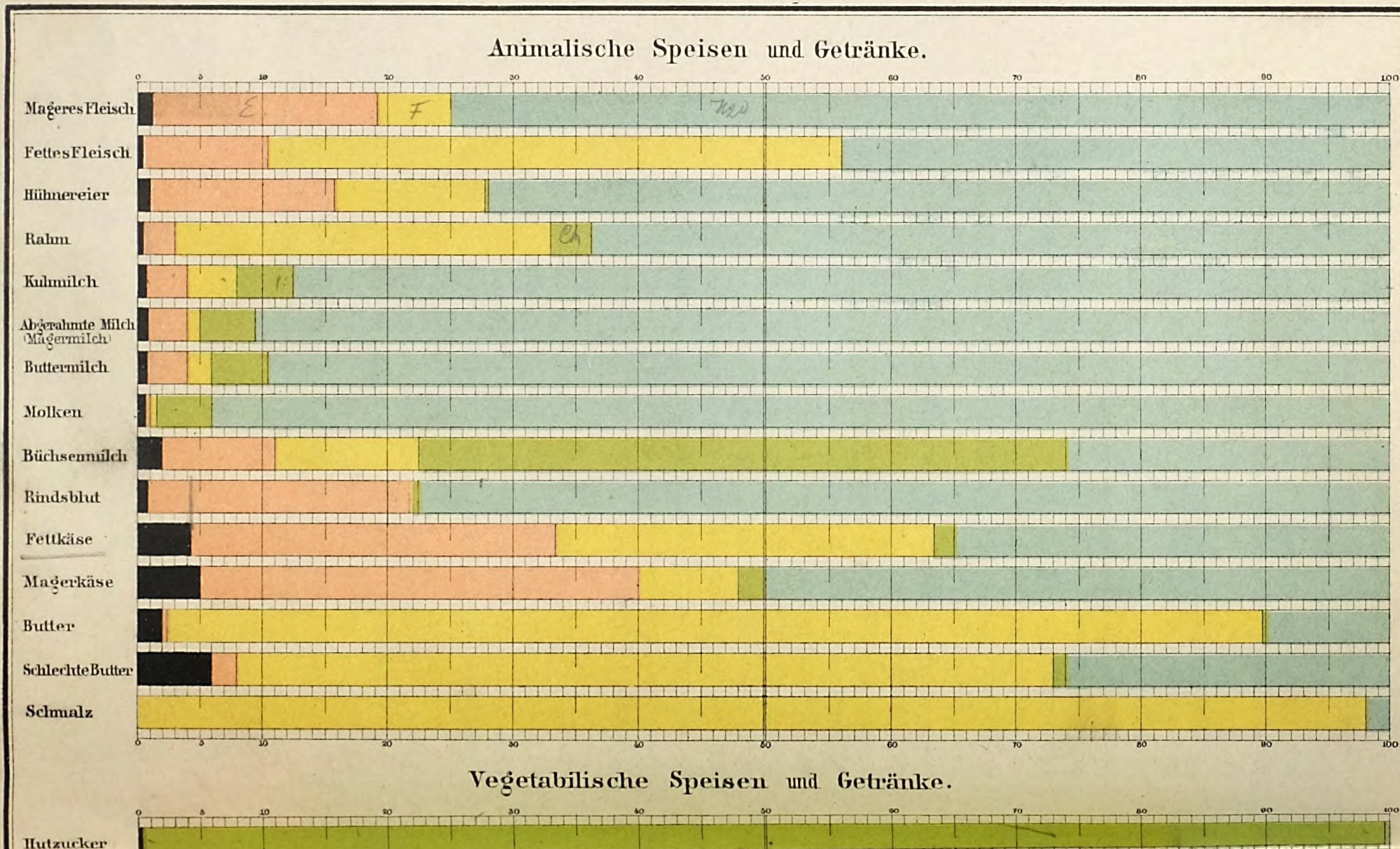
Die Nährstoffe werden vom Menschen aufgenommen, um den Verlust an Körperstoffen zu decken, welche in der Arbeit des Lebens verbraucht werden. Aus der in der Atmung ausgeschiedenen Menge von Kohlensäure und Wasser, aus dem Stickstoffgehalt der wässerigen Ausscheidungen der Sekretionsorgane (Nieren) läßt sich mit Leichtigkeit berechnen, wieviel Eiweißstoff und Fett

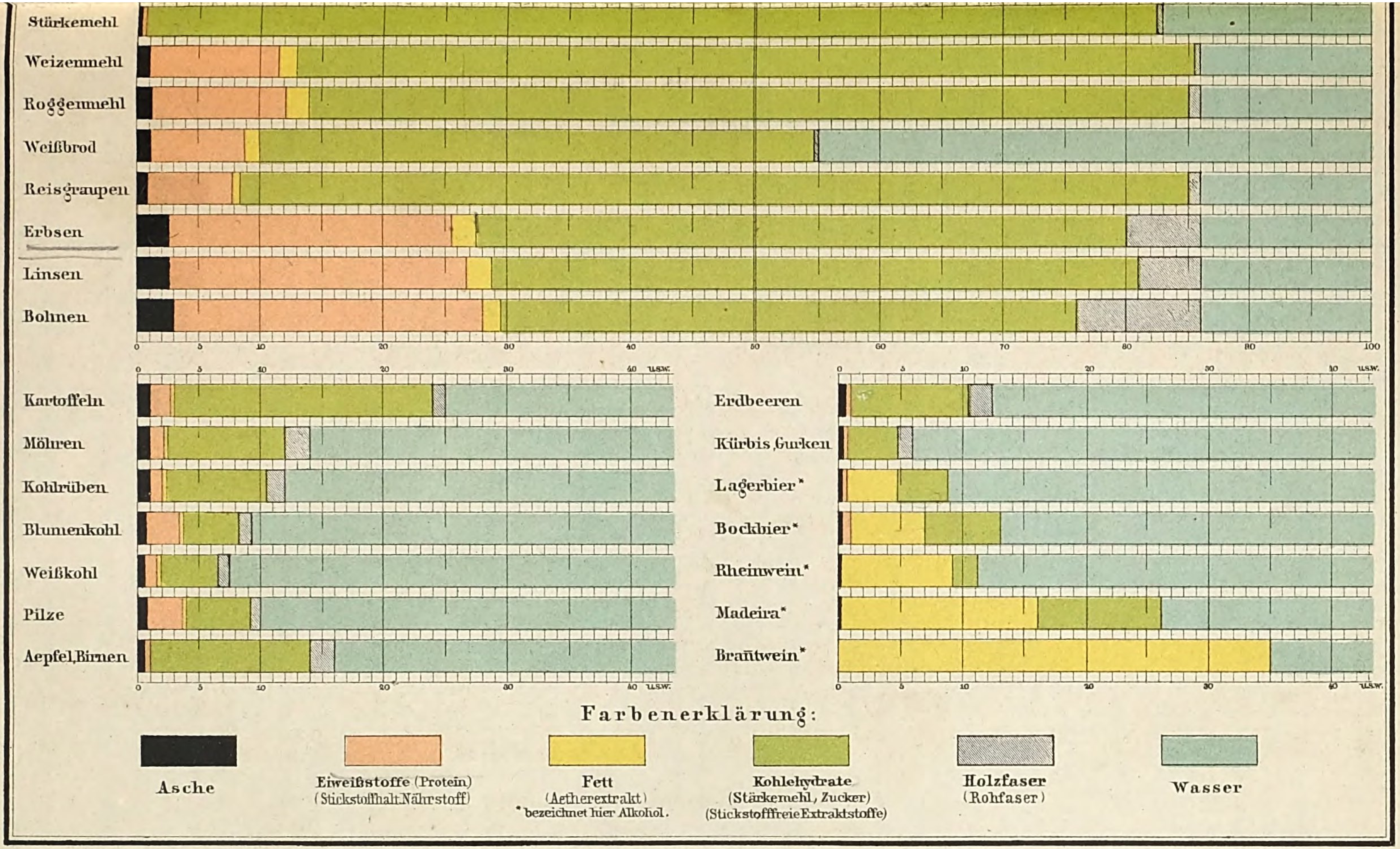
be-
nen
mit
[illegible]
e ſie

[illegible]
rich.
mit
[illegible]

NÄHRWERT DER NAHRUNGSMITTEL.

(Nach Alex. Müller.)





Bibliographisches Institut in Leipzig.

ein hungernder Organismus zu seiner Erhaltung während eines bestimmten Zeitraumes von seinen Körperstoffen verbraucht hat.

In den zweiten 24 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme sah der Verfasser bei einem wohlgenährten jungen Manne das Körpergewicht, nach Abzug alles nicht streng zu letzterem Gehörigen, sinken von 69,643 auf 68,513 g, d. h. um 1130 g. Diese Gewichtsabnahme wurde vorwiegend durch Abscheidung von Wasser in den Lungen, an der Haut und durch die Nieren hervorgerufen. Aus den während 24 Stunden vollkommen gesammelten gasförmig und tropfbarflüssig abgegebenen Ausscheidungen des Körpers ergab sich nur ein Verlust von 50,7 g Eiweißstoff und 198,1 g Körperfett, zusammen eine Abgabe fester organischer Körperstoffe von 248,8 g, wozu noch eine nur wenige Gramm betragende Ausscheidung anorganischer Salze durch die Nieren kommt. Mit dieser geringfügigen aus den Organen selbst entnommenen Nährstoffmenge bestritt an dem Hungertage der Körper die ganze Summe von mechanischen Leistungen, welche das Leben von unserem Organismus bei relativer Körperruhe fordert. Diese Stoffquantität reicht jedoch nicht hin, die Körperabnahme wird in Beziehung auf Abgabe von Wasser und festen organischen Stoffen, namentlich von Körperfett, eine weit beträchtlichere, wenn wir von unserem hungernden Organismus auch noch eine beträchtliche äußere Arbeit verlangen müssen. Die Stoffsumme, welche im Hungerzustande verbraucht wird, reicht aber ebensowenig zu einer vollständigen Ernährung aus, wenn wir durch Nahrungszufuhr unseren Organismus zu einer inneren Arbeit, d. h. zur Arbeit der Verdauung, zwingen.

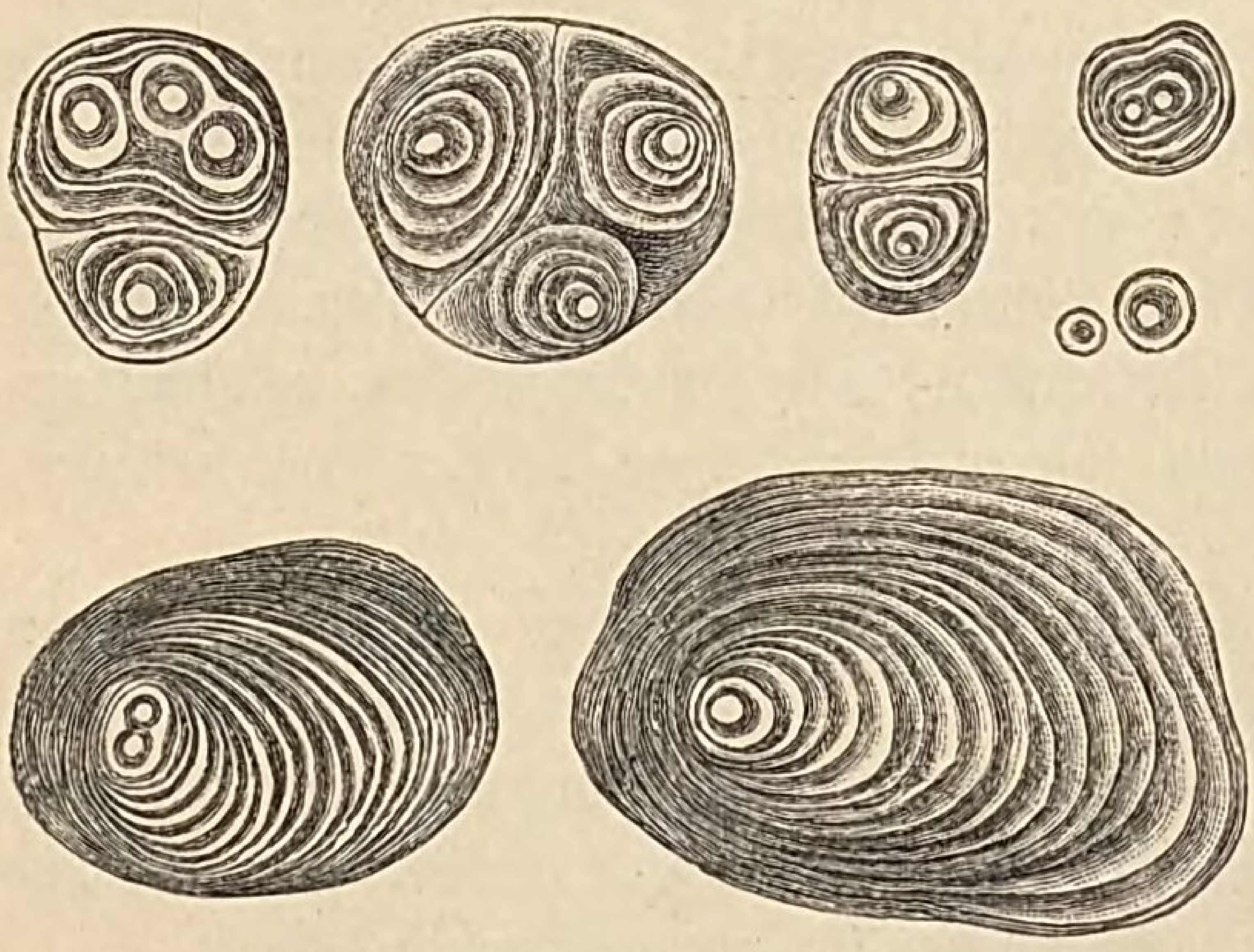
Die Stoffsumme, welche wir als Minimalmenge von Nahrung dem Menschen zuführen müssen, um nicht nur seinen Körper zu erhalten, sondern um diesen auch arbeitsfähig zu machen, muß daher beträchtlich größer sein als die Stoffmenge, die der Organismus bei äußerer Körperruhe und bei Ausfall der sonst fast unablässig fortgehenden inneren Arbeit der Verdauungsorgane und den daraus sich ergebenden physiologischen Konsequenzen im Hungerzustande bedarf.

Die **Eiweißstoffmenge**, welche der erwachsene Mensch zum Zwecke des Ersatzes der in der Organarbeit verbrauchten Organe oder Körpereiweißstoffe nötig hat, ist auffallend gering. In der Kost der ärmsten Volksklassen in Norddeutschland (Luckau), bei welcher die Kartoffel eine besonders wichtige Rolle spielt, treffen nach **Böhms** Angaben auf einen erwachsenen Mann für 24 Stunden etwa 64 g Eiweiß. Das ist etwa als die untere Grenze anzusehen für die zur Organerneuerung notwendige Eiweißstoffmenge. Führen wir in der Nahrung mehr Eiweiß zu, so wird dasselbe nur bei gesteigerter Muskelarbeit zur Verbesserung der Organernährung, speziell zum Wachstum der Muskelfleischmasse, und zwar auch dann nur teilweise verwendet, während der oft beträchtlich große Rest direkt zum Zwecke der Erzeugung lebendiger Kraft im Organismus dem Stoffwechsel unterliegt, ganz ebenso wie die übrigen organischen Nährstoffe: Zucker, Fette, Leim ꝛc. Essen wir genügende Eiweißmengen, was z. B. durch den Genuß von fettlosem Fleisch annähernd zu erreichen ist, so wäre es wohl möglich, daß wir mit dem Eiweiß als einzigem Nährstoff das Gesamtbedürfnis unseres Organismus nach organischer Nahrung decken könnten. Bei äußerer Körperruhe würden dazu für einen erwachsenen Mann in 24 Stunden 2 kg fettfreies Fleisch erforderlich sein, was etwa 438 g Eiweißstoffen (+ Leim) entspricht; ein stark mechanisch thätiger Arbeiter würde noch weit mehr bedürfen. Nehmen wir nach unserer oben gemachten Angabe 64 g Eiweiß als notwendig zur Organernährung an, so würden bei einer lediglich aus fettfreiem Fleisch bestehenden Nahrung zum Zwecke der Erzeugung lebendiger Kraft in 24 Stunden 374 g Eiweiß mehr verbraucht werden, d. h. über achtmal soviel mehr, als der Körper zur Erhaltung seiner Organe bedarf.

Diese gesamte Eiweißmenge, welche zur Organbildung nicht verwendet wird, kann ersetzt werden durch andere Nahrungsstoffe, durch Zucker (als solcher kommt bekanntlich auch alles

Stärkemehl und ein Teil der Cellulose im Organismus nach der Verdauung in die Säftemasse), durch Fette und durch Gelatine (Leim), welche das Eiweiß als organbildenden Stoff nicht zu ersetzen vermag, sonst sich aber in der Ernährung dem Eiweiß sehr ähnlich verhält. Nach den oben gegebenen Wertbestimmungen der Nahrungsmittel je nach der von ihnen dem Organismus gelieferten Summe verwendbarer Spannkräfte müssen wir von Zucker etwa die doppelte Menge genießen, um in der Nahrung die einfache Menge Fett zu ersetzen. Etwa ebenso hoch wie der des Zuckers ist der Nährwert der Gelatine (Leim).

Nach diesen Erfahrungen sind wir nun in der Lage, die ausreichende Kost eines Menschen aus einer Stoffmischung der vier gewöhnlichen Nahrungsstoffe für 24 Stunden willkürlich zu variieren. Wenn in der Tageskost nur die nötige Eiweißmenge, Wasser und anorganische Salze für die Organernährung enthalten sind, so können sich die übrigen Nährstoffe innerhalb der oben angegebenen Grenzen gegenseitig ersetzen, also etwa zwei Teile Zucker oder Gelatine (Leim) für einen Teil Fett.


Stärkemehlkörperchen. Vergrößert.

Die gegenseitige Vertretbarkeit der Nährstoffe ist für die einzelnen Personen jedoch bekanntlich nicht vollkommen dieselbe, da der eine den einen Nährstoff, z. B. Fett, leichter verdaut als der andere. Auch innerhalb der Eiweißgruppe, der Fett- und Zuckergruppe (Stärkemehlsorten, s. beistehende Abbildung) finden sich nicht unbeträchtliche Verschiedenheiten in der Größe der Verdauungsarbeit, welche die einzelnen chemischen Körper fordern. Durch diese individuellen Schwankungen wird aber die allgemeine Gesetzmäßigkeit nicht gestört. Daß auch die Zubereitung, Würzung, Mischung der Speisen und anderes noch Einflüsse auf größeren oder geringeren Verdauungskraftaufwand ausüben, haben unsere Besprechungen der Magenverdauung ergeben. Die oben gemachten Angaben bezüglich der Mengenverhältnisse, in welchen sich die einzelnen Nährstoffe vertreten können, erleiden daher im Einzelfall manche Einschränkungen; immerhin sind sie aber für die allgemeine Orientierung von der durchschlagendsten Bedeutung.

Die Gesamtausgaben des Menschen an Kohlenstoff und Stickstoff aus chemischen Stoffen, welche im Stoffwechsel der Organe wirklich gedient haben, belaufen sich in 24 Stunden bei reichlicher Ernährung auf etwa 15 g Stickstoff und 214 g Kohlenstoff = 1 : 14. C. von Voit fordert nach seinen zahlreichen Bestimmungen für eine ausreichende Ernährung etwas mehr: 18,3 g Stickstoff und 328 g Kohlenstoff = 1 : 18; diese relativen und absoluten Quantitäten sind enthalten in ca. 1400 g Schwarzbrot, welches sonach dem Nahrungsbedürfnis des Menschen in hohem Maße entspricht.

Als ausreichende Nahrung für einen erwachsenen jugendlichen Mann von 74 kg Körpergewicht bei geringer Muskelarbeit kann nach des Verfassers Erfahrungen dienen:

Eiweißstoffe	100	Gramm
Fett	100	„
Stärkemehl (Zucker)	240	„
Salz	25	„
Wasser	2535	„
Zusammen:	3000	Gramm.

Dieser Kostsatz kann aber nach dem Gesagten wesentlich modifiziert werden, ohne daß die Ernährung darunter leidet.

C. von Voit beobachtete als ausreichende selbstgewählte Kost bei Arbeitern in München im Mittel aus 30 Einzelbeobachtungen:

Eiweißstoffe	74 Gramm
Fette	33 "
Kohlehydrate	160 "

Fast absolut die gleichen Mengen bestimmten Hultgren und Landergren an Arbeitern in Stockholm, nämlich: Eiweißstoffe 70, Fette 30, Kohlehydrate 200, zum Beweis, daß zwischen München und Stockholm das Klima für die Ernährung keinen Unterschied bedingt.

Bei starker körperlicher Arbeit, durch welche der gesamte Stoffverbrauch bedeutend gesteigert wird, muß nach von Voit die Gesamtmenge der Nahrung höher gegriffen werden, etwa:

Eiweißstoffe	110—120 Gramm
Fette	60—100 "
Stärkemehl (Zucker) . . .	450—500 "

dazu noch Salze und Wasser.

Wie viel geringer aber die Eiweißstoffmenge sein kann, bei welcher sich der Einzelne wie eine ganze Bevölkerung immerhin noch arbeitskräftig zu erhalten vermag, wenn nur die genügende Menge von anderweitigem Nährmaterial geliefert wird, ergibt die oben gemachte Angabe über die Eiweißmenge in der Nahrung der ärmlichsten Arbeiterbevölkerung Norddeutschlands. Mit den obigen stimmen auch ältere Angaben, nach welchen die Eiweißmenge in der Kost englischer Landbauern zwischen etwa 67 und 88 g in 24 Stunden schwankt. Wird der erwachsene Mensch bei Körperruhe sonst ausreichend, aber ohne Zufuhr von Eiweißstoffen in den Nahrungsmitteln ernährt, so verbraucht er am zweiten Versuchstage nur 51,5 g Eiweißstoffe, also kaum mehr als bei vollkommener Nahrungsenthaltung in der Ruhe, wofür wir 50,7 g fanden. Dies beweist, daß als Minimum des Eiweißverbrauches eines arbeitenden Erwachsenen die angegebenen Größen von 64 oder 67 g Eiweißstoff wohl ausreichen können. Es ist das von hoher Wichtigkeit für die Beurteilung der Ernährungsverhältnisse unter abnormen Verhältnissen.

Die Ernährung in ihrer ethnischen Bedeutung.

In Beziehung auf die Eiweißmenge in der Nahrung können wir uns durch aprioristische Vorstellungen außerordentlich täuschen lassen, und zwar kommen solche Täuschungen nicht nur bei Reisenden in fernen Gegenden vor, wo sie die Menschen unter fremdartigen Lebensgewohnheiten beobachten, sondern auch in nächster Nähe. So hat man von den Bewohnern des bayrischen Gebirges behauptet, daß sie bei einer Diät, welche vorzugsweise nur aus Kohlehydraten (Stärkemehl) und Fetten bestehen, dagegen nur sehr wenig Eiweißstoffe enthalten sollte, außerordentlich muskulös entwickelt und arbeitskräftig seien. Bei näherer exakter Betrachtung sind aber die Verhältnisse vollkommen andere. Es ist richtig, daß die herkulischen Bauern des bayrischen Gebirges wie die Bewohner der angrenzenden Gebirge und Hochebenen nur an den vier höchsten Festtagen im Jahre Fleisch genießen, dann freilich in sehr großen Portionen. Sie nähren sich sonst von Mehlspeisen, die durch ihren ungemeinen Fettreichtum auffallen. Diese sogenannte „Schmalzkost" ziehen sie der Fleischkost als besonders kräftigend vor, wie ihr Sprichwort sagt:

„A habernes Roß und an g'schmalzenen Mann, die zwoa reißt koa Teufl zam."

Doch ist diese vorwiegend aus Mehl, Schmalz und Milch bestehende Nahrung nichts weniger als eiweißarm. Ein erwachsener Arbeiter erhält im Tage durchschnittlich in ihr 152 g Eiweißstoffe!

Ganz ähnlich geht es mit der Behauptung, daß sich in den Städten der bayrische Arbeiter wesentlich durch Bier arbeitskräftig erhalte. Zu den schwersten und anstrengendsten Arbeiten gehört die der Brauknechte, nur sehr starke Männer eignen sich dazu. Die Brauknechte sind notorisch die stärksten Biertrinker in Bayern. Sie erhalten für einen Tag 8 Liter Bier geliefert; was sie mehr trinken, müssen sie aus eigener Tasche bezahlen. Aber außerdem erhalten sie in einer der berühmtesten Bierbrauereien Münchens auf den Kopf noch 546 g Brot, 810 g Fleisch mit Fett, so wie es der Fleischer liefert, und im Zugemüse noch eine unbestimmte Menge Fett, Kohlehydrate 2c. Die stärksten Biertrinker sind sonach auch die stärksten Fleischesser. Das Bier enthält so gut wie keine Eiweißstoffe. Erst 12—13 Liter würden hinreichen, den Kohlenstoffverlust des Körpers in 24 Stunden zu decken; die notwendige Eiweißmenge müßte dann aber immer noch in anderer Form zugeführt werden. Das ist der Sinn, wenn wir auch bei reichlichstem Biergenuß noch eiweißhaltige Stoffe, namentlich Käse, mit genossen sehen.

In derselben Richtung wie die Kost der altbayrischen Landbewohner hat man auch die Nahrung in Tropenländern falsch beurteilt. Wir hören erzählen, der Hindu lebt von Reis, der Mexikaner von Mais und Bananen, der südamerikanische Neger von Zuckerrohr 2c. Alle diese Substanzen sind relativ eiweißarm, sie enthalten aber immerhin, wie das Mehl, eine nicht zu unterschätzende Menge von Eiweißstoffen. Erst wenn wir die Quantitäten kennen, in welchen diese Stoffe genossen werden, können wir uns ein Urteil bilden über die Ernährung in jenen fernen Weltteilen. Man glaubte annehmen zu müssen, daß in heißen Klimaten der Mensch zur Erhaltung seiner Körperwärme, der Hauptform von lebendiger Kraft, welche der menschliche Organismus produziert, eine geringere „organische Oxydation", im allgemeinen weniger Nahrungsmittel bedürfe. Daher sollte es kommen, daß der Tropenbewohner weit weniger Nahrung genieße als namentlich der Nordländer, während alle Völker der Polarzone als Fresser verschrieen sind. Das letztere mag ja unter Umständen wirklich gelten, aber auch der Stoffverbrauch der Tropenbewohner ist weit höher, als man denselben sich aprioristisch konstruierte. Auch in den heißesten Klimaten verliert der Mensch sehr viel Wärme, die Wasserverdunstung in der Lunge und an der Haut steigt dort sehr beträchtlich, und wie wir oben hörten, besitzen auch Bewohner heißer Länder eine bedeutende Schweißbildung. So ist es noch keineswegs ausgemacht, daß die Wärmeabgabe des Menschen und dem entsprechend der Stoffverbrauch in den Tropen eine geringere ist als in mittleren, ja vielleicht in nördlichen Klimaten. Während die Lebensweise in heißen Ländern darauf gerichtet ist, möglichst die Wärmeabgabe an der Körperoberfläche zu steigern durch geringe oder ganz mangelnde Kleidung, durch Hervorrufen von Luftbewegung, durch warme und kalte Bäder und anderes, schützen sich umgekehrt bekanntlich die meisten Bewohner kalter Gegenden möglichst vor Wärmeabgabe.

Recht anschaulich schildert Falkenstein seine eigenen Erfahrungen über den Einfluß des heißen Klimas der Loangoküste. „Es ist durchaus irrig", sagt der Forscher, „anzunehmen, daß die Ernährung und der Appetit wegen der exzessiven Hitze darniederliegen; im Gegenteil gilt an der Westküste Afrikas die ausgemachte Thatsache, daß der Appetit in häufig sogar unerfreulicher Weise zunimmt und die Verdauung außerordentlich rege ist. Dies ist aber auch notwendig zur Erzeugung der großartigen Wärmemengen, welche durch die Verdunstung dem Körper entzogen werden. Stockt die Ernährung auch nur kurze Zeit, so fühlt man sich bei selbst geringfügigen Fiebern sehr bald erstaunlich matt und hinfällig, die Kräfte schwinden in einer Weise, wie man dies in Europa nur nach längerem Krankenlager findet." Wenn daher Bastian sagt: „So kommt es, daß durch Überarbeitung der Organe, welche vergleichsweise zur Ruhe bestimmt sind,

nämlich der Leber bei dem Bewohner höherer Breiten, der Lunge bei dem Bewohner der Tropen, der eine in dem ihm fremdartigen Klima den Gallenfiebern, der andere, nach kalten Erdstrichen versetzt, der Auszehrung unterliegt", so können wir ihm nur vollkommen recht geben. Die Verminderung des Appetits, welche bei uns während exzessiver Hitze beobachtet wird und dann, als zur gesteigerten Wärme gehörig, in heißen Gegenden vorausgesetzt wird, beruht auf anderen Ursachen. Bei plötzlichem, vereinzeltem Auftreten hoher Temperaturgrade fühlt sich der daran Nichtgewöhnte durch Wasserverlust von heftigem Durst gequält und erzeugt, indem er den Magen mit noch dazu sehr niedrig temperierten Flüssigkeitsmengen überschwemmt, Verstimmungen desselben, welche ihn zur Verdauung untauglich machen. Anders verfährt der Bewohner tropischer Gegenden, der, an den Wasserverlust gewöhnt, ihn nur durch die nötigen Quanta eines den örtlichen Verhältnissen angemessen temperierten Wassers ersetzt und durch kleine Mengen exzitierender Spirituosen die Magenthätigkeit anregt.

Es ist sehr lehrreich, wenn neuere Reisende auch die Mengenverhältnisse mitteilen, in welchen jene eiweißarmen Nahrungsmittel in warmen Klimaten genossen werden. K. von Scherzer berichtet, daß ein chinesischer Arbeiter 900—1200 g Reis, zur Erntezeit sogar 1500 g im Tage verzehrt. Der Reis enthält aber etwa 0,3 Prozent Fett und 7,5 Prozent Eiweißstoffe; schon in 900 g Reis sind sonach 67,5 g Eiweißstoffe enthalten, genau die gleiche Menge, welche in der Nahrung der ärmsten norddeutschen und englischen Landarbeiter gefunden wurde, in 1500 g aber fast 113 g. Dazu bekommt der chinesische Arbeiter noch mehrmals in der Woche Fisch oder Fleisch und ein aus frischen Hülsenfrüchten bereitetes, sehr eiweißreiches, käseartiges Nahrungsmittel. Ein japanischer Feldarbeiter erhält neben solcher eiweißreicher Bohnensulze noch über 1600 g Reis in einem Tage, selten Fisch oder Eier, denen sie aber eine besonders kraftgebende Wirkung zuschreiben. Danach erscheint der Stoffverbrauch in jenen Ländern sogar höher als im Durchschnitt in unserem Klima, und wir müssen ein ganz analoges Verhältnis auch bei den genannten Tropenbewohnern voraussetzen, ehe wir die Quantitäten kennen, in denen sie ihre relativ eiweißarmen Nährstoffe genießen.

Wenn man umgekehrt gemeint hat, daß die Eingeborenen anderer Länder, wo Nahrungsmittel aus dem Pflanzenreich fehlen, fast lediglich von Eiweißstoffen aus tierischer Nahrung leben, so ist das in der anderen Richtung die gleiche Täuschung. Darwin erzählt bei Gelegenheit der Beschreibung seines Aufenthaltes in den Pampas, daß er mehrere Tage nichts als Fleisch genossen und sich ganz wohl dabei befunden habe. Die Gauchos verzehren in den Pampas monatelang nichts als Rindfleisch, doch kennen sie, wie alle fleischessenden Nationen, z. B. die nordamerikanischen Jägervölker, wohl den Wert des Fettes, sie verschmähen mageres, trockenes Fleisch. Gutes Rindfleisch enthält 10—15 Prozent Fett und etwa 16 Prozent Eiweißstoffe mit Leim.

Am meisten Fett in der Nahrung genießen, nach den Berichten aller Reisenden, die Bewohner der Polarländer. Man pflegt das so zu erklären: in einem kalten Klima ist man der großen Wärmeverluste wegen genötigt, viel zu essen und zwar namentlich Fett wegen seiner hohen Verbrennungswärme. Daß die Polarbewohner, solange sie Überfluß haben, viel und namentlich auch viel Fett genießen, ist zweifellos; aber bei ihrer Unkenntnis der Idee der Vorsorglichkeit und des Sparens treten, namentlich im Winter, auch regelmäßig Zeiten des äußersten Mangels ein. Es fragte sich also bisher immer noch, ob die genossenen Nahrungsquantitäten im Polarkreis im Durchschnitt wirklich größer sind oder größer sein müssen als im mittleren Klima und in den Tropen. In dieser Beziehung haben wir erst durch Nordenskjöld wissenschaftlich brauchbares Material erhalten: er teilte die genauen Rationen mit, welche die Leute der Vega während ihrer Überwinterung in der Nähe der Beringstraße Woche für Woche erhalten haben. Dieser Kost schreibt Nordenskjöld den vortrefflichen Gesundheitszustand aller Mitglieder der Expedition

während des strengen Polarwinters zu und das vollkommene Fehlen jenes gefürchteten Feindes der arktischen Unternehmungen, des Skorbuts. Als besonders wesentlich lehren diese interessanten Angaben, daß in der Nahrung der Mannschaft der Vega nicht nur Eiweiß und Fett reichlich vertreten waren, beide in etwas höheren Quantitäten, als wir sie oben für einen wohlgenährten Arbeiter in unserem Klima angesetzt haben, sondern auch besonders eine große Menge von Kohlehydraten darin enthalten war, namentlich in der Form von Mehl, Grütze und Brot, welche mehr als doppelt so groß ist als der niedrigste von uns oben gemachte Ansatz.

Die Mitteilungen Nordenskjölds dürfen wir, wie es scheint, so deuten, daß wirklich, einem größeren Wärmeverlust des Körpers entsprechend, der Stoffverbrauch, namentlich an kohlenstoffhaltigem Nährmaterial, im arktischen Klima ein bedeutenderer ist als im gemäßigten und heißen, zwischen welchen wir bisher keine wesentlichen Unterschiede in dieser Beziehung kennen (s. oben, S. 314). Immerhin müssen wir aber konstatieren, daß bisher die brauchbaren Mitteilungen von seiten der Reisenden über diese wichtige Frage der Völkerphysiologie noch nicht ausreichen, um definitive Antworten geben zu können. Wissen wir doch auch nicht, ob die Leute der Vega diese enormen Massen von Nahrung wirklich gegessen haben; wir hören stets von reichlichen Überbleibseln, welche den bettelnden Tschuktschen verabfolgt wurden. Auch die interessanten Angaben, welche wir ebenfalls Nordenskjöld über die Ernährung der Tschuktschen verdanken, enthalten leider keine quantitativen Werte. Wir ersehen im allgemeinen auch daraus nichts weiter, als daß die von den Angehörigen dieses Polarvolkes verzehrten Nahrungsmengen enorm sein können, solange der Vorrat ausreicht. Im speziellen vernehmen wir aber mit dem größten Interesse, daß dort neben der Fett- und Fleischnahrung vegetabilische Kost keineswegs fehlt, daß diese Leute alles nur irgend verwendbare Grünzeug verzehren und für den Winter zu einer Art von Sauerkohl verarbeiten, zu dessen Herstellung namentlich die Blätter der hochnordischen Weidenpflanze dienen. Auch die beiden wichtigsten Genußmittel der Menschheit: Tabak und Branntwein, haben ihren regelmäßigen Handelsweg in diese abgelegenen Eiswüsten gefunden.

Hunger und Durst.

Jene Funktionen, an welche die Fortdauer des Individuums geknüpft sind, unterstehen nicht der absoluten Willkür des Individuums. Die Natur verwendet zur Sicherung der Erfüllung dieser Hauptaufgaben in der organischen Welt energisch wirkende Triebe, welche unwillkürlich zu den Handlungen, welche der Naturaufgabe entsprechen, antreiben und ihre regelrechte Ausübung lehren. Eine Reihe spezifischer Gefühle, welche wir als Hunger und Durst kennen, wirken unter normalen psychischen Bedingungen und bei der gegebenen Möglichkeit der Ausführung zwingend auf uns ein, flüssige und feste Nahrung zu uns zu nehmen.

Die örtliche Hungerempfindung scheint anfänglich auf den Magen beschränkt, von dessen Empfindungsnerven hervorgerufen. Der Hunger macht sich geltend in drückenden, nagenden Gefühlen, verbunden mit zusammenziehenden Bewegungen des Magens; später folgen Übelkeit, Gasanhäufungen und endlich wahre Schmerzen. Der Grund für diese nervösen Zustände liegt in gewissen Ernährungsstörungen der sensibeln Magennerven selbst, durch den im unthätigen Magen eintretenden Mangel an Blutzufuhr hervorgerufen. Jede Ursache, welche die Blutzufuhr zum Magen steigert, unterdrückt daher auch ohne Nahrungszufuhr das Hungergefühl. Alles, was die Blutmenge des Körpers im ganzen vermindert oder durch stärkere Veränderungen in der Blutverteilung im Organismus die Blutmenge des Magens herabsetzt, erregt dagegen Hunger und Durst: Stoffverluste, Wachstum, starke Muskelbewegungen und anderes. Die Stillung des

Hungergefühles durch gewisse Genuß- und Arzneimittel, namentlich durch Narkotika: Opium, Tabak (Nikotin), beruht zum Teile auf einer direkten chemischen Einwirkung dieser Mittel auf die sensibeln Magennerven, zum Teile aber auch, wie namentlich beim Alkohol, darauf, daß durch sie der Blutzufluß zum Magen wie durch Nahrungsaufnahme gesteigert wird. Bei hohem Grade von Hunger beteiligen sich endlich auch die weniger empfindlichen Gefühlsnerven der Gedärme an diesem überwältigenden Gefühl, namentlich dann, wenn bei krankhafter Behinderung der Abgabe der in den Magen aufgenommenen Speisen in den Darm letzterer vom Magen aus keine oder zu geringe Zufuhr erhält.

Ein Teil des Hungergefühles ist aber zweifellos ein psychischer Vorgang. Es deprimiert den Geist, wenn zur gewohnten Zeit keine Nahrung zu Gebote steht. Alle intensiven geistigen Beschäftigungen und Ablenkungen des Interesses unterdrücken, wie andere Empfindungen, auch den Hunger. Das Gefühl der Hinfälligkeit nach längerem Hungern ist zunächst weit entfernt, wahre Kraftlosigkeit zu sein. Bei Beobachtungen über die physiologische Wirkung der Nahrungsenthaltung, welche der Verfasser mehrfach an sich selbst angestellt hat, war das körperliche Befinden am Schlusse der ersten 24 ohne Speise und Trank zugebrachten Stunden noch ungestört. Nach 41—47 Stunden waren nach unruhigem Schlafe Schwere im Kopfe, Magendrücken und ziemliches Schwächegefühl vorhanden. Nahrungsbedürfnis, Hungergefühl, zeigte sich nicht mehr. Geringe Quantitäten getrunkenen kalten Wassers erregten Brechneigung. Erst einige Stunden nach sehr geringer Nahrungsaufnahme, einer Tasse Kaffee mit Milch, stellte sich normaler Appetit ein. Am lebhaftesten fand der Verfasser das Hungergefühl etwa 30 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme. Das Verschwinden des Hungergefühles ohne Nahrungszufuhr beweist, daß auch die Empfindungsnerven des Magens schließlich ermüden. Das Hungergefühl kann dann dadurch wieder erregt werden, daß durch anfänglich geringe normale Lebensreize, durch Zufuhr leichtverdaulicher Nahrung, die Erregbarkeit der Magennerven wieder erhöht wird. Jedem ist bekannt, daß bei gesundem Hunger nach den ersten Bissen der normale Appetit nicht abnimmt, sondern steigt. So ist die Appetitreizung durch gewisse die Magenthätigkeit anregende Gerichte, z. B. Austern, Fleischbrühe und anderes, zu verstehen. Nach noch länger als des Verfassers Hungerversuche andauernder Nahrungsenthaltung stellt sich endlich immer mehr zunehmende Kraftlosigkeit ein, Abmagerung, Fieber, Irrereden, die heftigsten Leidenschaften abwechselnd mit der tiefsten Niedergeschlagenheit. Der Magen zieht sich zusammen, alle Absonderungen werden immer spärlicher bis zum Eintritt des Todes; die Sekretion von Milch, Speichel, Galle, von Wundflüssigkeiten (Eiter) hört auf. Man hat bei Verhungernden in den letzten Lebensstadien heftiges Nasenbluten, allgemeine Körperkrämpfe und Ohnmachten beobachtet, zuletzt vollkommene Verrücktheit und Raserei, auf welche gewöhnlich bald der Tod erfolgte.

Der Mensch kann, wie die warmblütigen Tiere, den Hunger weit weniger lange ertragen als die niedrigen kaltblütigen Wirbeltiere und manche Wirbellose. Olme, Wassersalamander, Schildkröten kann man jahrelang erhalten ohne andere Nahrung, als sie Brunnenwasser bietet. Schlangen sah der berühmte Physiolog Johannes Müller ein halbes Jahr lang ohne Nahrung ausdauern; ein afrikanischer Skorpion lebte ohne Nahrung neun Monate. Vögel leben 5—28 Tage, Hunde 25—36 Tage ohne Speise und Trank. Gesunde Menschen ertragen Hunger und Durst gewöhnlich nicht viel länger als eine Woche, selten länger als zwei Wochen; Kranke, besonders Irre, aber viel länger. Wenn Wasseraufnahme freisteht, kann der Hunger länger ertragen werden. Tiedemann führt Fälle an, in welchen Hungernde, welche Wasser genießen konnten, 50 Tage ausdauerten. Moleschott berechnet mit den von Tiedemann gesammelten Beispielen als mittlere Lebensdauer des Menschen bei vollkommener Nahrungsenthaltung 20 bis 21 Tage; doch sind hierbei Kranke, die länger ausdauern können, mitgerechnet.

Die gesunden Menschen sterben am Hunger um so früher, je jünger sie sind. Celsus berichtet, daß Kinder im allgemeinen den Hunger schlechter ertragen als Erwachsene; er erzählt Todesfälle bei Kindern am ersten bis vierten Tage der vollkommenen Nahrungsentziehung. Von den Söhnen des Grafen Ugolino, welche die Pisaner mit dem Vater im Gefängnis zum Hungertode verurteilt hatten, starben nach dem Berichte des Cardanus die jüngsten zuerst, die übrigen ertrugen den Hunger um so länger, je älter sie waren, so daß die letzten erst am fünften oder sechsten Tage erlagen. Der Vater starb, ehe noch der achte Tag abgelaufen war. Plinius behauptet, ein Mensch erlebe bei Entziehung aller festen und flüssigen Nahrung noch den elften Tag.

Bei lange dauerndem Hunger werden die Organe und Gewebe des Organismus endlich nicht nur relativ wasserreicher und ärmer an festen Organstoffen, sie nehmen der Mehrzahl nach auch beträchtlich an Masse ab; der Tod bei Verhungern tritt ein, wenn der Körper etwa um zwei Fünftel abgenommen hat. Das Fett des Körpers schwindet fast ganz, auch die Fleischmasse und das Blut vermindern sich bedeutend, bis zum Hungertod etwa um ein Drittel. Merkwürdig ist es, daß Gehirn und Rückenmark, soviel wir wissen, unter der Nahrungsentziehung nicht oder nur unwesentlich an Gewicht verlieren. Die eigentümlichen mechanischen Einrichtungen, durch welche diese Organe mit Blut versorgt werden, führen den erwähnten Zentralorganen, entsprechend ihrer hohen physiologischen Bedeutung für das Gesamtleben, wenigstens annähernd die gleiche Blutmenge und damit die gleiche Quantität von Ernährungsmaterial zu, mag sonst viel oder wenig Blut dem Körper zur Verfügung stehen. Damit hängt es zusammen, daß auch bei lange andauernden krankhaften Ernährungsstörungen, bei welchen der hinfällige Körper dem Erliegen entgegengeht, die geistigen Funktionen noch vollkommen unberührt in alter Frische und Stärke vorhanden sein können. Die nervösen Zentralorgane sind physikalisch dadurch, daß sie in eine starre, wie ein Schröpfkopf auf die Blutmenge wirkende Knochenkapsel eingeschlossen sind, vor der die übrigen Organe aus Blutmangel im Hunger treffenden Ernährungsverminderung relativ geschützt; ihre Gefäße müssen, auch wenn sich nach und nach die Gesamtblutmenge vermindert, kaum weniger mit Blut gefüllt werden als im normalen Zustande. Übrigens bleiben auch alle anderen Organe, deren Thätigkeit, wie die des Zentralnervensystems, im Hunger nicht oder nur wenig geringer wird, also namentlich das Herz, von der allgemeinen Gewichtsverminderung, welche die nicht mehr arbeitenden Organe trifft, ziemlich verschont.

Das Durstgefühl beginnt mit Empfindungen von Trockenheit, Rauheit und Brennen im Schlunde, im weichen Gaumen und an der Zungenwurzel. Durchtränken und Befeuchten dieser Partien stillt momentan den Durst; an den betreffenden Stellen endigen die Empfindungsnerven, welche die primäre Durstempfindung vermitteln. Die Reizung der Durstnerven erfolgt durch Wasserentziehung aus ihrer Substanz, hervorgerufen entweder durch lokale „Vertrocknung“ der betreffenden Schleimhautpartien oder durch allgemeinen Wasserverlust aus dem Blute. Im letzteren Falle kann dauernd nur Neuzufuhr von Wasser in die Säftemasse die Ursache der Durstempfindung heben. Bei längerer Nahrungsenthaltung vermindert sich, wenn die Wasserverdunstung keine ganz übermäßige ist, nach und nach auch das Durstgefühl, da, wie wir hörten, im Hungerzustande alle Gewebe, auch die Nerven, wasserreicher werden, womit also die Ursache der Dursterregung verringert wird.

Wir haben oben schon angedeutet, daß unter Umständen Kranke, namentlich solche, welche an Störungen im Gehirn-Rückenmarks-Nervensystem leiden, die Nahrungsenthaltung länger ertragen können als Gesunde. Namentlich setzen manche Rückenmarksleiden das Bedürfnis nach fester Nahrung ungemein herab. Claude Bernard hat gezeigt, daß durch gewisse Rückenmarksverletzungen warmblütige Tiere experimentell in den Zustand eines „minimalen Lebens“ versetzt

werden können, in welchem ihr gesamtes physiologisches Verhalten annähernd auf jenes der kaltblütigen Tiere herabgesetzt und damit ihr Stoffverbrauch sehr wesentlich vermindert erscheint. Bei alten Leuten, deren Körperorgane mehr und mehr wasserreich werden, ist bei minimaler Körperbewegung das Nahrungsbedürfnis und der Stoffumsatz oft ebenfalls auffallend gering. Hippokrates lehrte schon: Kinder ertragen den Hunger kürzere Zeit als Erwachsene, Männer kürzer als Frauen, und Greise ertragen ihn länger als beide. Der Stoffverbrauch sinkt auch beträchtlich durch längere Zeit fortgesetzte mangelhafte Ernährung, also durch Hunger im alltäglichen Wortsinne, z. B. bei Gefangenen; ebenso aus derselben Ursache bei Kranken, namentlich bei Geisteskranken. Daher rührt die oft gemachte Behauptung, daß kräftigere Konstitutionen den Hunger weniger lange ertragen als schwächlichere, bei welchen der ununterbrochen vor sich gehende Stoffverlust aus inneren Ursachen (zum Teile aus Blutmangel) ein geringerer ist. Diese Zustände verminderten Stoffverbrauches erinnern teilweise an den Winter- und Sommerschlaf warmblütiger und kaltblütiger Tiere, wobei ohne äußere Nahrung und bei sehr herabgesetzter Atmung das „minimale Leben" erhalten bleibt. Ähnlich sind die Verhältnisse bei dem Puppenzustande vieler Insekten oder auch bei sehr fetten und dadurch blutarmen Menschen, bei welchen normal das objektive Nahrungsbedürfnis infolge eines bedeutend herabgesetzten Stoffverbrauches oft geringer ist als bei mageren. Auch im Dunkeln ist der Stoffverbrauch herabgesetzt.

Es ist bemerkenswert, daß unter den zahlreichen Beispielen monatelangen Fastens, von denen die Geschichte der Medizin von ihrem Beginne an zu berichten weiß, sich solche Fälle finden, bei denen direkt als Ursache Rückenmarksverletzungen, z. B. eine Quetschung des Rückens (Haller) oder vollkommene Lähmung, angegeben werden. Die Fälle aus der älteren Medizin werden jedoch in ihrer vollen Glaubwürdigkeit dadurch beeinträchtigt, daß man damals den Nährwert der genossenen Nahrungsmittel nicht genügend zu schätzen wußte. So finden wir in solchen Fällen neben Wasser auch die zucker- und eiweißreiche Molke als ein mit Wasser ziemlich gleichwertiges Getränk erwähnt. Von einer Nahrungsenthaltung kann aber beim Genusse von Molke selbstverständlich nicht die Rede sein.

Es scheint, daß die in der letzteren Zeit wieder vielfach besprochenen Vorkommnisse von monate-, sogar jahrelangem Fasten sich zum Teile, soweit sie nicht vollkommen auf Täuschung der Umgebung beruhen, auf Fälle beziehen, bei denen das Nahrungsbedürfnis wirklich krankhaft herabgesetzt ist. Der Appetit kann dabei, wie man das bei Irren täglich zu sehen Gelegenheit hat, in der That fast ganz fehlen und die Nahrungsaufnahme eine im Verhältnis so geringe sein, daß die Umgebung in rhetorischer Übertreibung sie als gar keine bezeichnet. Werden solche Fälle sensationell ausgebeutet, so kann der Mangel aller Nahrungsaufnahme um so eher Glauben und Bestätigung finden, da derartige Individuen wirklich längere Zeit ohne Nahrung ausdauern können, und zwar um so leichter, da ihnen, wie gesagt, oft der Appetit fast vollkommen fehlt. Es sind von glaubwürdigen Beobachtern einige Fälle verzeichnet, in welchen solche fastende Personen genauer Kontrolle unterworfen wurden, so daß sie wirklich während der Beobachtungszeit keine Speisen erhielten und doch kein Verlangen nach Nahrung zu erkennen gaben. Ein solcher Fall machte vor einiger Zeit in England gerechtes Aufsehen. Ein außerordentlich fettes Mädchen, Sara Jakob, sollte angeblich gar nichts essen. Um den Betrug zu entdecken, bewachte man das Kind. Es aß nun thatsächlich nichts, starb aber nach acht Tagen.

Ein anderer, im allgemeinen gut beobachteter Fall ist der, über welchen der vortreffliche Physiolog und Arzt Ph. von Walther der königlichen Akademie der Wissenschaften in München berichtete. Der Fall betrifft ein altbayrisches Bauernmädchen, Anna Maria Furtnen. Infolge der Blattern, die sie als Kind durchgemacht zu haben scheint, blieb sie kränkelnd, und es bildete sich bei ihr eine Scheu vor jeder warmen Speise aus; zuletzt erstreckte sich der Widerwille auch

gegen die kalten Speisen, Obst und Milch, die sie bis dahin noch genossen hatte. Von ihrem 16. Lebensjahre an soll sie „bis auf diese Stunde“, über 40 Jahre, nichts mehr als Wasser aus der Quelle ihres Hofes getrunken haben! Der Abscheu gegen Nahrung war, wie man erzählt, schon bei dem Kinde so groß, daß es sich selbst durch Drohungen nicht zur Annahme derselben zwingen ließ. Zur Zeit der ersten Beobachtungen Walthers im Frühling 1843 trank sie täglich 1—3 Maß Wasser, im Frühling außerdem den Saft frisch angebohrter Birken. Feste Exkremente sollte sie nicht, flüssige nur spärlich haben. Im Frühling 1843 wurde sie in das Münchener Krankenhaus zur Beobachtung gebracht und, isoliert, bei versiegelten Fenstern, bei „fast“ peinlicher genauer Kontrolle dessen, was zur Thür ein- und ausging, 35 Tage lang nur bei Wasser beobachtet. Man bemerkte während der Zeit wirklich keine festen Ausscheidungen. Die flüssigen und die luftförmigen Körperabgaben aus Lunge und Haut wurden sorgfältig bestimmt. Sie erschienen quantitativ vermindert, qualitativ aber die gleichen wie bei Gesunden. Während der Beobachtungszeit hatte sich das Körpergewicht um einige Pfund vermindert. Zweifelsohne haben wir hier eine Persönlichkeit vor uns, bei welcher das Nahrungsbedürfnis im Sinne des minimalen Lebens wesentlich herabgesetzt war. Doch hatte sie die Beobachtungszeit schließlich sichtlich körperlich heruntergebracht. Nach dem Tiedemannschen Falle, bei welchem die Lebensdauer bei Wasser 50 Tage betrug, war übrigens mit den 35 Tagen die Grenze der Lebensmöglichkeit auch für einen gesunden Menschen noch nicht erreicht. Walther machte die geistvolle und richtige Bemerkung, daß der minimale Stoffverbrauch bei Nahrungsenthaltung sich zum Teile durch einen relativen Ausfall der Leberthätigkeit erkläre. Im allgemeinen sind solche sonderbare Heilige, welche nichts essen wollen, Kranke, oft Geisteskranke. Aus krankhafter religiöser Überspanntheit sollen schon in älterer Zeit Personen 40 Tage lang sich aller festen Nahrung enthalten haben.

Ein absichtliches vierzigtägiges Fasten zum Zwecke ärztlicher Selbstbeobachtung hat die allgemeine Aufmerksamkeit der gesamten gebildeten Welt in Amerika und Europa erregt, das des Dr. med. Tanner. Dr. Tanner, ein geborener Engländer aus der Grafschaft Kent, war im Jahre 1848 nach Nordamerika ausgewandert. In seiner dortigen Praxis als Arzt befaßte er sich speziell mit den Krankheiten der Verdauungsorgane, hielt Vorträge über frugale, mäßige Lebensweise und den günstigen Erfolg mehrtägigen Fastens. Er selbst war häufigen Verdauungsbeschwerden unterworfen, gegen welche er 5—12 Tage zu fasten pflegte; einmal, im Sommer 1877, soll er schon 42 Tage nur Wasser zu sich genommen haben. Am 28. Juni 1880 begann er, um die Zweifel wissenschaftlicher Autoritäten an der Möglichkeit einer vierzigtägigen Enthaltung von aller Nahrung, außer Wasser, zu beseitigen, seine berühmte Fastenprobe im United States Medical College unter Oberaufsicht des Rektors der genannten medizinischen Akademie, Dr. Gunn, den verschiedene an der Anstalt als Professoren wirkende Ärzte unterstützten. Tanners Körpergewicht betrug zu Anfang des großen Fastens 71,4 kg, mit einer wohlentwickelten Fettlage im Unterhautzellengewebe; sein Brustmaß betrug 1,016, sein Hüftmaß 0,991, seine Größe 1,60 m. Sein Puls war im Mittel 88, seine Temperatur 37° C. Am 28. Juni, mittags 12 Uhr, begann das Fasten. Während der ersten Wochen machte sich Tanner täglich eine halbe Stunde Bewegung, vom 25. Tage an stellten sich nach psychischer Alteration Übelkeit und Gallebrechen ein, er verfiel von da an zusehends, erholte sich aber in der Folge wieder, als er sich entschloß, kohlensaures Wasser zu trinken. Abgesehen von einer in der letzten Zeit über ihn gekommenen hohen Reizbarkeit, war Tanner fast immer in bester Laune. Feste Ausleerungen fehlten während der Beobachtungszeit ganz. An einem Sonntag morgens ertönte das Signal, daß die vierzigtägige Fastenzeit überstanden sei. In der ersten Zeit nach dem Fasten lebte Tanner fast ausschließlich von pflanzlicher Nahrung, namentlich von Wassermelonen, erst nach und nach nahm er Fleischnahrung und Wein zu sich. Acht Tage reichten hin, den während der Hungerzeit eingetretenen

Körpergewichtsverlust wieder vollkommen zu ersetzen. Am Ende des ganzen Hungerversuches wog Tanner noch 55,1 kg, er hatte also 16,3 kg an Gewicht abgenommen. Nach unseren physiologischen Erfahrungen genügt die in dieser Gewichtsabnahme sich aussprechende innere Verzehrung von Körperstoff, um den Stoffwechsel während der vierzigtägigen Hungerzeit zu decken.

In einer der vom Verfasser am eigenen Körper angestellten Beobachtungen bei vollkommener Enthaltung von fester und flüssiger Nahrung betrug bei einem Anfangskörpergewicht von nahezu 70 kg während der zweiten 24 Stunden vollkommener Nahrungsenthaltung die direkt bestimmte Ausscheidung durch Nieren, Lungen und Haut 8,024 g Stickstoff und 184,5 g Kohlenstoff; das entspricht einem Körperverbrauch während der 24 Beobachtungsstunden von 50,7 g Eiweißstoff und 198,1 g Körperfett, zusammen also von 248,8 g fester Organstoffe. Wir wissen aber aus Beobachtungen an Kranken, die lange Zeit an Behinderung der Ernährung gelitten haben, daß die vom Organismus in der Zeit von 24 Stunden verbrauchte Eiweißmenge bis auf 14—16 g sinken kann. Zweifellos korrespondiert mit diesem geringsten Eiweißverbrauch in den späteren Hungerstadien ein ebenfalls sehr gesunkener Verbrauch an Körperfett. Nehmen wir, unserem Versuch entsprechend, den täglichen Verbrauch von Tanners Körper rund zu 50 g Eiweiß und 200 g Fett, also zu 250 g fester Organstoffe, an, so würde, wenn der Verbrauch während der 40 Tage ganz gleich geblieben wäre, was nicht möglich ist, Tanner während seiner Fastenzeit genau 10 kg fester Organstoffe verloren haben. Wir werden aber wenig irren, wenn wir den Verbrauch während der zweiten Hälfte der Hungerzeit nur auf die Hälfte des anfänglichen Körperverbrauches ansetzen. Unter dieser wissenschaftlich vollkommen gerechtfertigten Voraussetzung würde der Verlust an festen Körperstoffen während der 40 Tage nur 7,5 kg betragen. Außer festen Stoffen gibt der menschliche Organismus aber noch eine beträchtliche Menge von Wasser in seinen flüssigen und gasförmigen Ausscheidungen durch Nieren, Haut und Lungen ab. Während der Fastenperiode trank Tanner wenigstens 20 Lit. = kg Wasser. Wir haben dazu noch die ca. 9 kg, welche Tanner mehr an Körpergewicht verloren hat, als die Abnahme seines Körpers an festen Organstoffen betrug (16,3 zu 7,5 kg), zu rechnen, weil diese Mehrabnahme des Körpergewichtes im wesentlichen nur in Wasserverlust durch die sensibeln und insensibeln Ausscheidungen bestanden haben kann. Sonach verfügte Tanner für seine Gesamtwasserabgabe durch Nieren, Haut und Lungen während der vierzigtägigen Periode über 29 kg Wasser. Der 40. Teil dieses Gesamtwasserverbrauches, nämlich 29/40 kg = 725 g Wasser, für jeden einzelnen der Hungertage reicht bei der notorischen Herabsetzung der Wasserabgabe in den späteren Hungertagen für den Verbrauch des Organismus vollkommen aus. Bei meinem oben angeführten Hungerversuch betrug die Gesamtwasserabgabe in 24 Stunden 873 g. Nehmen wir, entsprechend der Körpergewichtsabnahme am Ende des Tannerschen Hungerversuches, an, daß die Wasserabgabe in der zweiten Hälfte desselben um ein Drittel vermindert gewesen sei, in der ersten Hälfte der Hungerzeit aber die gleiche Größe betragen habe, wie sie der Verfasser an sich selbst am zweiten Hungertage bestimmt hat, so hätte Tanner genau 29 kg (28,92) Wasser in den 40 Tagen abgeben müssen, ebensoviel, wie nach unserer Rechnung wirklich abgegeben wurde.

Der Tannersche Hungerversuch, gegen dessen Glaubwürdigkeit wir von physiologischer Seite keine gegründeten Bedenken vorbringen können, und welcher in allen wesentlichen Resultaten durch die dreißigtägige Hungerperiode des durch ausgezeichnete Forscher beobachteten neuesten Hungerkünstlers Succi und anderer volle Bestätigung fand, hat neuerdings wieder bewiesen, daß die Gefahr der Enthaltung von aller festen Nahrung, solange Wasser zu trinken freisteht, nicht eine unmittelbar für das Leben drohende ist. Es ist aber anderseits ganz zweifellos, daß Tanners und der anderen Hungerkünstler günstiges Resultat wesentlich von ihrem psychischen Gleichmut ermöglicht wurde. Speziell Tanner blieb sichtlich der festen Überzeugung, daß er sein Hunger-

experiment ohne Gefahr für sein Leben überstehen würde; diese Überzeugungsfestigkeit ersetzte bei Tanner die geistige Gleichgültigkeit Geisteskranker, welche, wie erwähnt, den Hunger ebenfalls überraschend lange zu ertragen vermögen. Die Lebensgefährlichkeit aller Leiden, namentlich aber aller Schwächezustände, wie sie auch der Hunger hervorruft, wird durch psychische Alteration und Angst, welche vor allem das ohnedies immer schwächer werdende Herz zu unaushaltbaren Überanstrengungen zwingt und durch nervöse Agitation den Stoffverbrauch und alle innere Arbeit des Organismus steigert, wesentlich erhöht. Der geängstete Körper reibt sich auf, und wir kennen genug Beispiele von Tod, lediglich durch übermäßige Angst herbeigeführt. Für Kranke, die zu zeitweiliger Nahrungsenthaltung gezwungen sind, für Schiffbrüchige, für Wüstenreisende ohne Nahrung, für alle, die Hunger ertragen *müssen*, ist in Tanners Experiment ein Grund zu dauernder Lebenshoffnung gelegen, die Sorge vor dem Verhungern ist danach eine keineswegs dringende. Dieses Bewußtsein verringert die Gefahr beträchtlich, denn *Angst vor dem Verhungern zerrüttet den Körper mehr als das Hungern selbst.*

Da die tägliche Wasserabgabe des Körpers eine viel beträchtlichere Größe ist als die Abgabe fester Organstoffe, so reibt Durst, *vollkommener Wassermangel*, den Organismus entsprechend rascher auf als Mangel an festen Nährstoffen. Die Wasserabgabe ist im trockenen Wüstenklima bei hoher Temperatur bei wasserreichen Individuen sicher noch eine höhere als die vom Verfasser bei einer mittleren Temperatur von 19,5° C. und relativer Körperruhe am eigenen Körper beobachtete. Unser Organismus kann aber auch so trainiert werden, daß er relativ weit wasserärmer wird. Er bleibt dabei vollkommen gesund, ja nimmt an Leistungsfähigkeit zu. *Alkoholgenuß* und wasserreiche Nahrung vermehren den Wassergehalt aller Körperorgane, dagegen setzt denselben namentlich eiweißreiche trockene Kost, verbunden mit starken Muskelübungen, wesentlich herab. Mit dem geringeren Gesamtwassergehalt des Körpers sinkt dann auch seine Wasserabgabe. Wir können nicht daran zweifeln, daß die Widerstandsfähigkeit der echten Wüstensöhne teils darauf, teils auf der sie geistig stärkenden Erfahrung beruht, daß Durst nicht unmittelbar lebensgefährlich ist.

Es gibt Leute, welche bei voller Gesundheit außerordentlich wenig, in rhetorischer Übertreibung gar nicht trinken und zwar monate-, jahrelang. Die Möglichkeit liegt darin, daß die sogenannten festen Nahrungsmittel, aber namentlich Fleisch, Eier, Kartoffeln, Gemüse, Suppen, Obst, sehr wasserreich sind, so daß sie das eigentliche Getränk zum großen Teile ersetzen können. Diese „nicht trinkenden" Menschen rechnen aber gewöhnlich auch Thee oder Kaffee und Ähnliches nicht als eigentliches Getränk. Die fleischfressenden Insekten sollen nicht, die Raubvögel äußerst wenig trinken, was die ältere Physiologie auch von der Mehrzahl der vom Raube (Fleische) lebenden Säugetiere behauptete. Unter den südafrikanischen Säugetieren sollen einige mehrere Monate lang (?) im stande sein, ohne Wasser zu leben, indem sie nur Zwiebeln und Knollen verzehren, welche viel Feuchtigkeit enthalten. *Livingstone* rechnet zu diesen Durst ertragenden Tieren vornehmlich eine große Antilopenart, Boselaphus oreas, dann den Ducker oder Puti der Betschuanen, Cephalophus mergens, den Steinbock, Tragulus rupestris, den Gemsbock, Oryx capensis, und das Stachelschwein. Andere Tiere findet man dagegen ausschließlich in der Nähe des Wassers. Die Anwesenheit des Nashornes, des Büffels, des Gnu, der Giraffe, des Zebra, des Pallah ist immer ein sicheres Zeichen, daß sich innerhalb einer Entfernung von 7—8 engl. Meilen Wasser befindet. Dagegen entfernt sich auch der Strauß oft weit vom Wasser.

Man hat die Meinung in allem Ernste vertreten, daß der Mensch nicht zu trinken brauche, wenn er allein von den Pflanzenfrüchten leben würde, für deren Genuß man ihn primär von der Natur bestimmt glaubte.

Der Nahrungsmangel als ethnisches Moment.

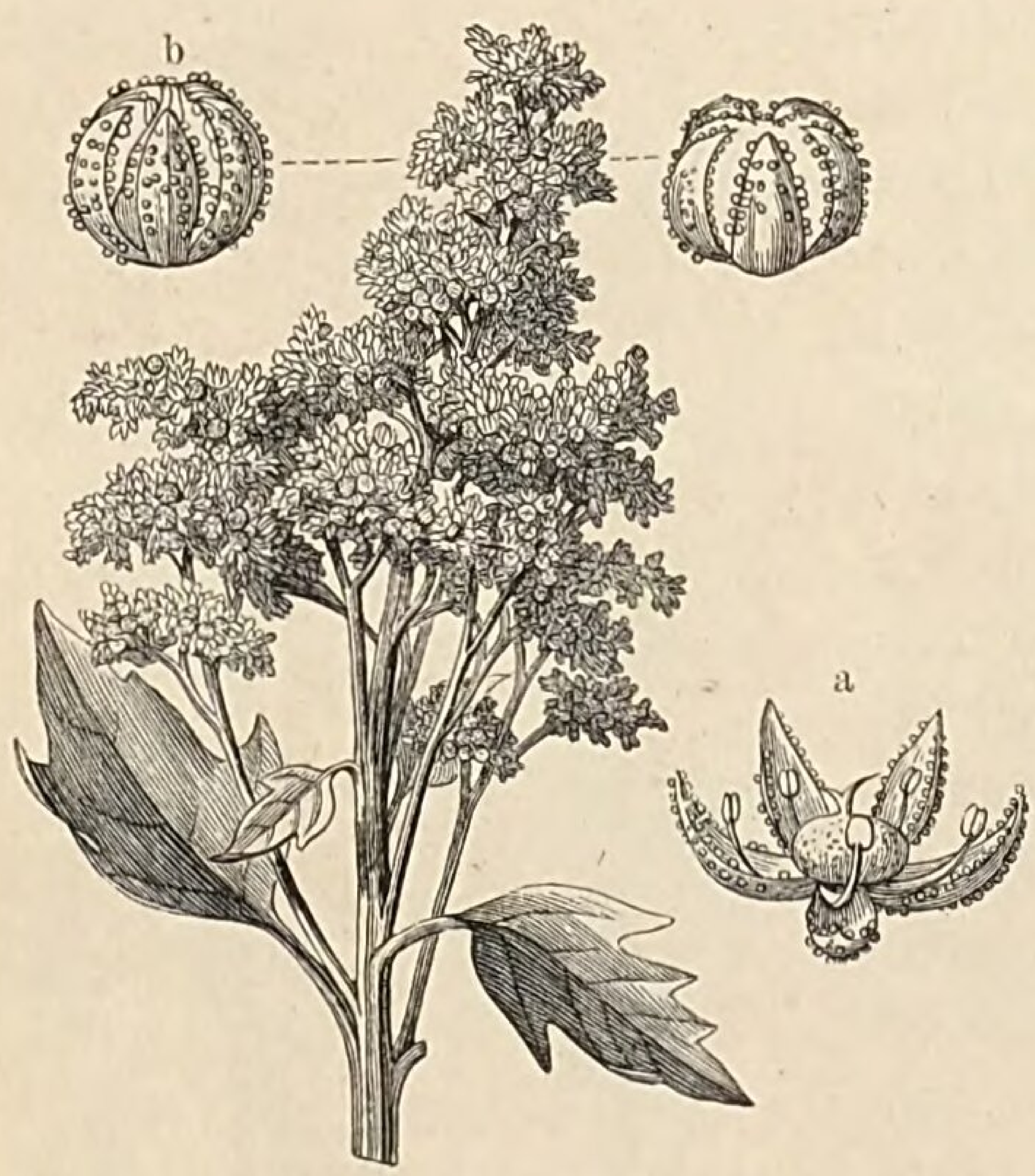
Wie schrecklich sind die Wirkungen des Durstes, wenn die Hoffnung auf eine mögliche Befriedigung desselben schwindet; wie aufreibend sind der Gemütszustand und das körperliche Gesamtverhalten durch die Furcht des Verschmachtens geängsteter Wüstenreisenden, verglichen mit der heiteren Gemütsruhe des Hungerkünstlers Tanner. Auch aus den ergreifend wahren Schilderungen, welche Nachtigal über die von ihm mehrfach bestandenen Gefahren des Verdurstens, verirrt in der heißen, wasserlosen Wüste zwischen Fessan und Tibesti, gegeben hat, geht hervor, wie der ungebrochene Mut der an solche Gefahren gewöhnten Wüstensöhne die Gefahr selbst vermindert. Nachtigals Darstellungen sind physiologisch und psychologisch zu wichtig, als daß wir sie an dieser Stelle übergehen dürften.



Reis (Oryza sativa). a) Blüte, b) Fruchtähre. Vgl. Text, S. 333.

Auf Nachtigals Reise von Morpuk in die bis dahin von Europäern noch unbesuchten Tubuländer hatte sein Tubuführer Kolokomi sich in der Wegrichtung und in der Schätzung der Marschleistungsfähigkeit der kleinen Karawane geirrt. Nachtigal selbst war in hohem Grade erschöpft durch Strapazen und körperliche Leiden, voll banger Sorge vor dem drohenden Wassermangel. „Wir befanden uns", erzählt er, „in der Mitte des Sommers, wo zweitägige Wasserentziehung fast sicheren Tod bedeutet, und die Verdunstung verschlang große Quantitäten unseres fast erschöpften Wasservorrates trotz des ausgezeichneten Zustandes unserer Schläuche. Für den Lauf des zweiten Tages hatte uns Kolokomi einen Brunnen in Aussicht gestellt; unser Wasserrest mußte im Laufe des folgenden Tages selbst bei der sorgfältigsten und sparsamsten Einteilung endigen, und die untergehende Sonne zeigte uns unser Ziel in weiter Entfernung." Es verging eine Nacht unter unsäglichem zwecklosen Mühen, eine Felsenkette zu übersteigen; Nachtigals tunesische Kamele waren auf das äußerste erschöpft, und nur die zwei Kamele der Tubuvarietät hielten aus. Ein neuer heißer Tag begann, der letzte halbe Schlauch Wasser wurde verteilt, nur noch für den äußersten Notfall ward eine kleine Wassermenge aufgehoben. Mühsam strebten die Reisenden voran, über Stein und Sand, durch Schluchten und über Felsen. „Stumm wanderten wir einher, Nase und Mund durch Turbanstoff verhüllt, um die Austrocknung der Schleimhäute und dadurch den Durst zu verringern; jeder unserer Blicke hing mit angstvoller Spannung an den Zügen des Führers. Immer stiller wurde die Gesellschaft, in der jeder das düstere Gespenst ernstlicher Wassersnot vor seinen inneren Augen auftauchen sah." Die Nacht brach wieder herein, eine ängstliche Rast brachte keine Erquickung, bald nach Mitternacht Aufbruch und neues, halb verzweifeltes Ringen mit den Schwierigkeiten des Weges. Der Morgen kam, der ersehnte Brunnen lag noch in weiter Ferne. „Giuseppe (Nachtigals europäischer Diener) ging an die Verteilung des Wasserrestes. Jeder erhielt ein volles Glas von 6—8 Unzen des köstlichen Nasses, das die Frische der Nacht und die Verdunstung von der Oberfläche der Girba fast eisig gekühlt hatte, und gierig sogen wir mit schmerzlichem Bedauern, daß es nicht mehr sei, den letzten Tropfen

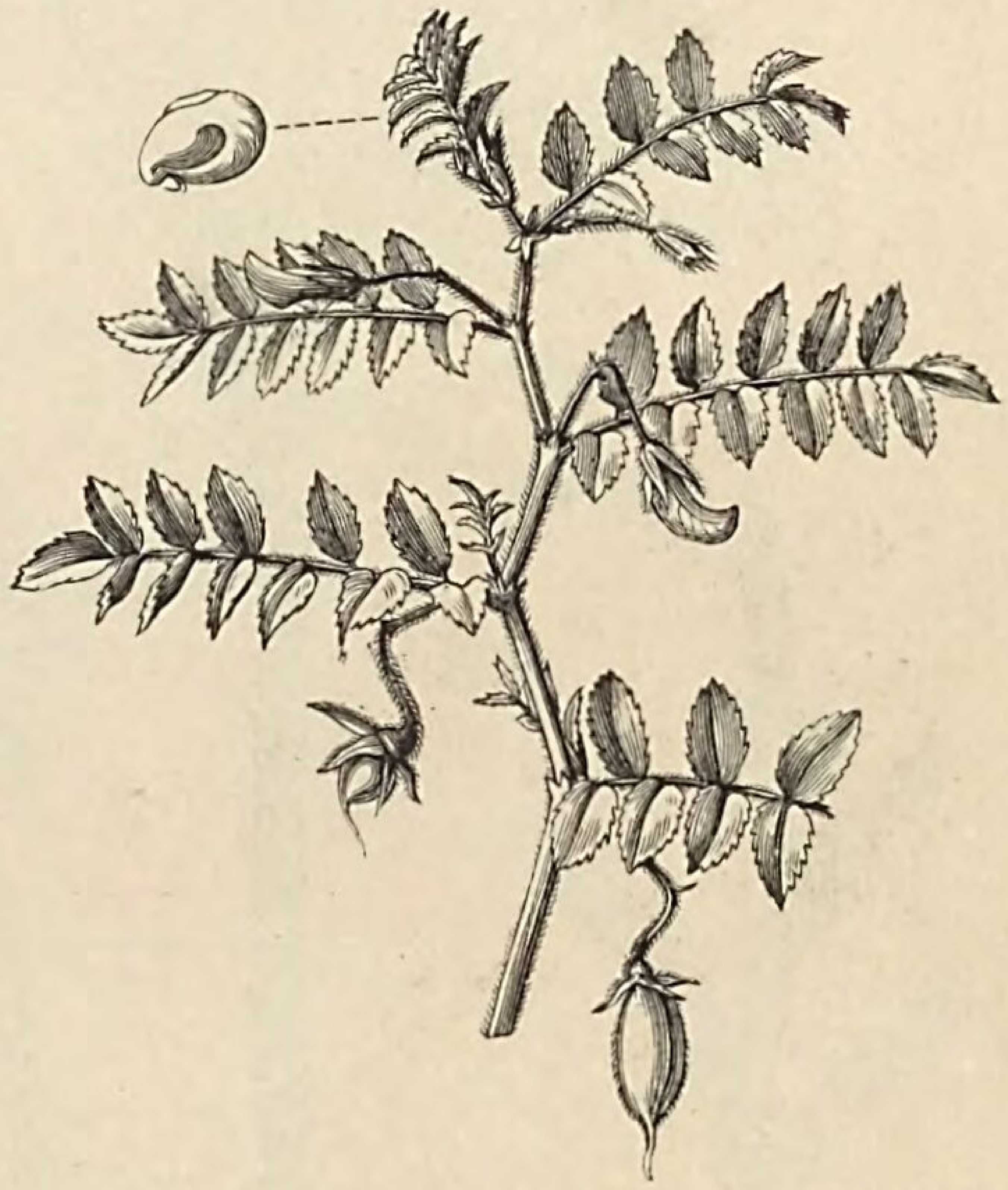
ein. Der letzte war Kolokomi. Er schob seinen Gesichtsschleier von Nase und Mund nach unten über das Kinn zurück, ergriff das Glas, nahm einen Schluck, kühlte die Schleimhaut seines Mundes mit demselben, spritzte es in langem Strahle durch eine Zahnlücke von sich, als ob es nicht heiliges Wasser, sondern der gewöhnliche Inhalt eines Tubumundes, grünlicher Tabakssaft, wäre, und reichte mir den Rest mit dem Bemerken, daß er noch keinen Durst habe, aber wohl begreife, daß wir als Leute des Wassers sogar diesen erst beginnenden Mangel nicht ertragen könnten. Es ist nämlich eine allgemein verbreitete Ansicht, daß die Christen auf sumpfigen Inseln, mitten im Meere, eng zusammengedrängt, ein halb amphibisches Leben führen. Der Mann imponierte mir, wie er, ausgetrocknet gleich den öden Gefilden seiner Heimat, hart und schroff wie die Felsen seines Landes, nichts von seiner Energie eingebüßt hatte. Auch Bu Zeid, Birsa und der alte Gatruner hatten etwas von dieser Wüstennatur in sich, während wir beiden Christen, mit Sa'ad und Ali eine Kategorie bildend, von jenen mit einem Mitleid, das nicht ganz frei von Verachtung war, betrachtet wurden.



Peruanischer Reis (Chenopodium Quinoa).
a) Blüte, b) Frucht. Vgl. Text, S. 334.

„Ohne Aufenthalt ging es wieder vorwärts. An der Spitze war Kolokomi, der seinen Landsmann Birsa hinter sich auf seine noch rüstige Naga (weibliches Kamel) genommen hatte; ihm der nächste war Bu Zeid auf seinem schlanken Tiere, das ebenfalls nicht durch die Belastung erschöpft war. Kolokomi und Bu Zeid waren dank der Leichtfüßigkeit ihrer Tubukamele bald unseren Blicken entschwunden, während wir unsere Tiere nur durch unmenschliche Züchtigung bewegen konnten, ihren Spuren zu folgen. Ein trockenes Flußbett bringt neue Hoffnung. Aber bald erhob sich der größte Feind des vom Durste Bedrohten oder Gequälten, die Sonne, zu bedenklicher Höhe. Glühend sendete sie ihre Strahlen auf die dunkelfarbigen Felsen und auf den hellen Sand zwischen denselben, und Strahlung und Rückstrahlung versetzten uns bald in ein Meer von Feuer und Glut. In ihm erstarb die momentan aufgeflackerte Thatkraft, drohte der kaum angefachte Hoffnungsfunke schnell wieder zu erlöschen. Furchtbarer Durst stellte sich ein; die Mund-, Rachen-, Nasen- und Kehlkopfschleimhaut wurde ihrer letzten Feuchtigkeit beraubt; um Schläfe und Stirn schien sich ein eiserner Ring enger und enger zu schließen. Kein erfrischender Windstoß erreichte uns in dem engen Thale; die Augen brannten schmerzhaft, die Ermattung wurde grenzenlos." Endlich in der Mitte des Vormittages erliegen die Kamele, sie kriechen mit ihrer menschlichen Bürde in den spärlichen Schatten, den das Geäste einer Akazie spendete. Die einzige Hoffnung blieb, daß die vorausgeeilten Tubu den Brunnen finden und mit Wasser zu den Verschmachtenden zurückkehren würden. Leider gelang es mir nicht, durch diese Hoffnung die Lebensgeister Alis und Sa'ads aufzumuntern. Der erstere verfiel schnell in einen Zustand halber Bewußtlosigkeit, der mir eine so ernstliche Besorgnis einflößte, als der erwachende Egoismus der eignen Lebensgefahr zuließ. Der letztere sprach mit entstellten Zügen nur von seinem nahen Tode, mir für den Fall meiner Rettung seine Frau und Kinder auf die Seele bindend, erging sich dann in bitteren Vorwürfen gegen mich, sie trotz der Warnung aller vernünftigen Leute in dies gräßliche Land geführt zu haben, und bereitete sich endlich durch laute, heiße Gebete zum Eintritt ins Paradies

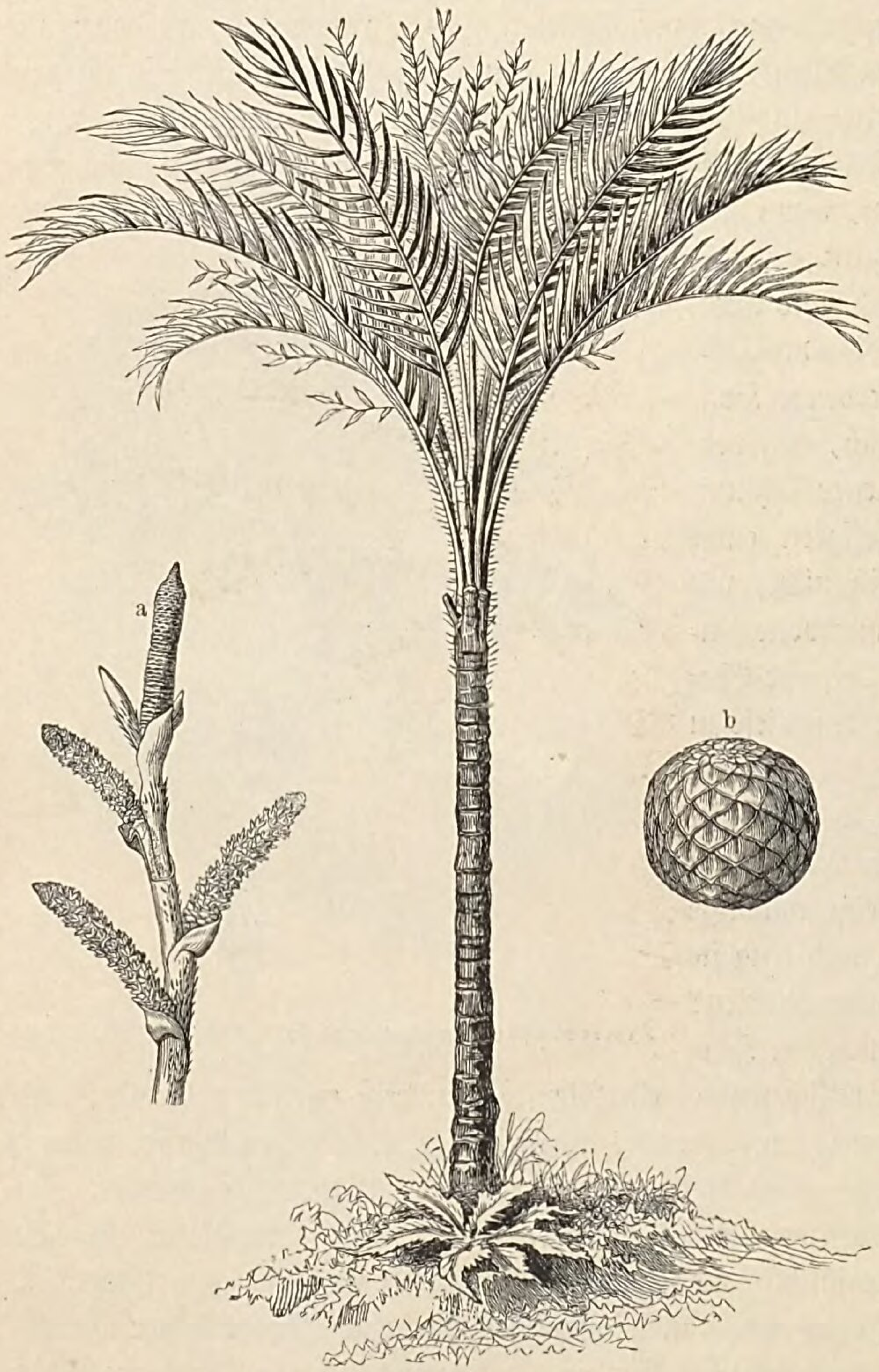
vor. Mohammed klammerte sich ohne Ostentation an seine einfache, fatalistische Lebensanschauung und verwies dem thörichten Sa'ad ernstlich seine Invektiven gegen mich, indem er ihm klar machte, daß alles vom allmächtigen Gotte so bestimmt sei, und daß ich doch unmöglich mehr thun könne, als mit ihnen zu sterben, wenn es so verhängt sei. Als der Nachmittag herankam, die Sonne sich allmählich zu senken begann und kein Wasser sich zeigte, fing meine Hoffnung an zu erblassen. Kein Schlaf wollte mich der drohenden Gegenwart für Augenblicke entrücken. Allmählich wurden die Gedanken zu unbestimmten Empfindungen, verwischten sich in Träumereien, in denen ich meine Umgebung sah, ohne in ihr zu leben, in denen Bilder aus meiner Vergangenheit mit den Erlebnissen der Gegenwart verschmolzen und ich mir nicht mehr klar bewußt war, ob ich in der fernen Heimat, ob am Fuße eines Felsens in der Sahara weilte. Zuweilen ward ich noch aufgerüttelt aus meinem Träumerleben, wenn stechende Sonnenstrahlen mein Gesicht trafen oder Sa'ad in neuerwachender Glaubensglut seine Gebete inniger murmelte. Doch bald schwand alles, Gegenwart und Vergangenheit, die drohende Todesgefahr und die nie ganz ersterbende Hoffnung, und ein Zustand umfing mich, von dem ich nicht weiß, ob er ein unvollkommener Schlummer oder die beginnende Bewußtlosigkeit eines nahen Unterganges war. Ich weiß nicht, wie lange dieser, ich kann nicht sagen, qualvolle Zustand dauerte, in dem meine Sinnesorgane Eindrücke von außen aufnahmen, ohne daß diese zu richtigem Bewußtsein gelangten.



Kichererbse (Cicer arietinum). a) Erbse. Vgl. Text, S. 335.

„Da, war es ein Traum, war es ein Spiel meiner krankhaft erregten Sinne? Eilte dort nicht mit schnellen, seltsamen Sprüngen eine mächtige Ziege gerade auf unsere Akazie los, und trug sie nicht gar einen Menschen auf ihrem Rücken? Ich hätte nachher darauf schwören mögen, Hörner und Bart gesehen zu haben. Freilich war es ein Mensch, ein heiß ersehnter Mensch; doch die Ziege verwandelte sich in ein Kamel, auf dem uns Birsa in zwei Schläuchen Wasser zutrug, dessen Anblick uns bei unserer Schwäche und Reizbarkeit Thränen der Rührung auspreßte. Im Nu war Ali Bu Bekr wieder zum Leben erwacht, Sa'ad versparte den Rest seiner Gebete auf eine passendere Gelegenheit, und ich war im Augenblick voll und ganz zur Gegenwart zurückgekehrt. Der nicht aus dem Gleichgewicht zu bringende Bui Mohammed allein ließ sich zu keiner unwürdigen Lebhaftigkeit der Gefühlsäußerung hinreißen, sondern kramte aus unserem Proviantsäckchen ein Dutzend Zwiebacke, brockte sie in unser Trinkgefäß und meinte, es sei zuträglicher, nach längerem Durste vor der Stillung desselben etwas feste Nahrung zu sich zu nehmen. Erst dann sogen wir uns voll des köstlichsten aller Getränke. Unter anderen Umständen wäre dasselbe freilich schwerlich von vielen angerührt worden, so schmutzig und voll fremder Bestandteile war es. Uns schien es ein Göttertrank, und unsere Lippen bebten keineswegs vor den verwesten Materien in ihm zurück. Nach dem ersten ausgiebigen Trunke hatte die Schleimhaut ihre normale Feuchtigkeit wiedererlangt, der heisere Choleraton der natürlichen Stimme Platz gemacht, und der lästige Harnzwang verschwand wie durch Zauberschlag. Als auch kein Tropfen des kostbaren Inhaltes mehr in den Schläuchen war, kam der vorher vergebens als Tröster herbeigesehnte Schlaf, der gesündeste, tiefste, erquickendste, den ich je im Leben schlief.

Nachtigal spricht sich voller Bewunderung über die Leistungsfähigkeit seiner Reisebegleiter vom Tubustamme aus. „Ohne Schlaf, ohne Nahrung, fast ohne Wasser konnten sie tagelang ausharren, ohne von ihrer Energie einzubüßen. Wenn ich sie", sagt Nachtigal, „in ihrer Rastlosigkeit beobachtete und die Frische und Leichtigkeit sah, mit der sie sich körperlichen Anstrengungen unterzogen, während wir der Ermattung fast erlagen, so konnte ich den Erzählungen des alten Gatruners wohl Glauben schenken, denen zufolge die Tubu nach tagelanger Nahrungslosigkeit die gebleichten Kamelknochen der Wüste pulvern und mit Wasser oder dem einer Ader ihrer Tiere entnommenen Blute in einen genießbaren Teig verwandeln, oder den Lederring, welcher ihr langes Messer am Handgelenk befestigt, oder ihre Sandalen durch Klopfen, Zerschneiden und Kochen eßbar machen. Ich konnte nach meiner kurzen Erfahrung es für möglich halten, daß ein Tubumann vier Tagemärsche ohne Wasser zu ertragen vermag, wenn er im Besitz eines Kameles ist, wohlverschleiert bei Nacht reist und bei Tage regungslos und schweigsam im Felsschatten liegt, ohne durch Einnahme von Nahrung oder überflüssige Bewegung den Durst zu vermehren. Erst nach dieser Zeit sollen sich seine Sinne trüben und er zum letzten Mittel greifen, sich am Sattel seines Kameles zu befestigen, jeder eigenen Initiative zu entsagen und sich rückhaltlos dem Ortssinn des Tieres anzuvertrauen."



Sagopalme (Sagus Rumphii). a) Blütenzweig, b) Frucht. Vgl. Text, S. 335.

Im Ertragen von Durst sind unter den südafrikanischen Eingeborenen vor anderen die Stämme der Buschmänner und, nach Livingstones Bezeichnung, die Bakalahari geübt, beides Bewohner der großen Wüste Kalahari, ein Name, unter welchem man die ganze Strecke vom Oranjefluß im Süden, unter 29° südlicher Breite, bis zum Ngamisee im Norden und ungefähr vom 24.° östlicher Länge bis in die Nähe der Westküste begreift. Dieser weite, ebene Landstrich enthält kein fließendes Wasser und nur sehr wenig Brunnen, obwohl er keineswegs des Pflanzenwuchses und der Bewohner entbehrt. Die Buschmänner leben aus freier Wahl, die Bakalahari gezwungen in der Wüste. Die Bakalahari gelten der Überlieferung zufolge für die ältesten Stämme der Betschuanen und sollen einst reiche Herden langgehörnter Rinder besessen haben, bis sie derselben beraubt und durch eine neue Wanderung ihrer eignen Nation in die Wüste getrieben

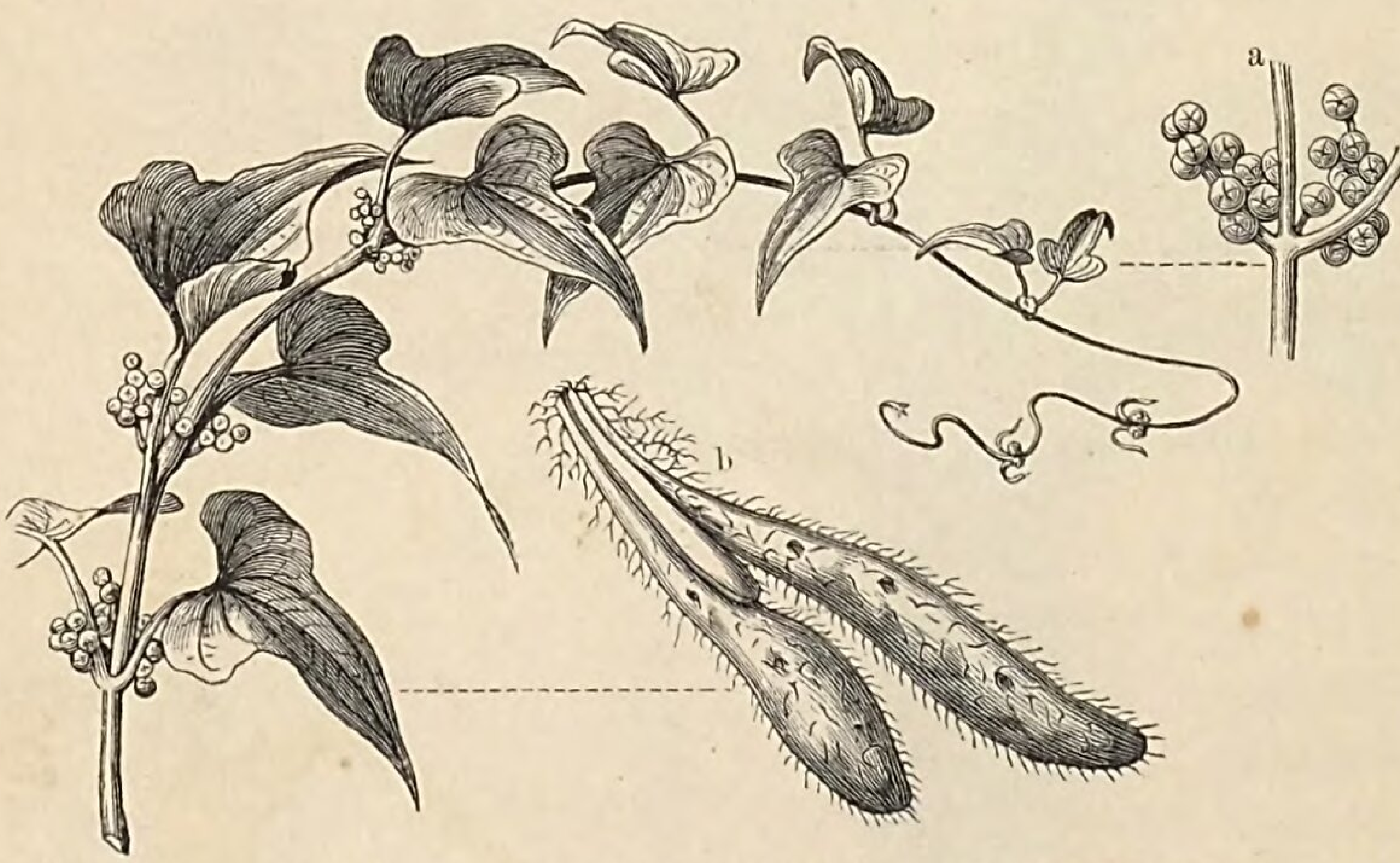
wurden. Seitdem wohnen sie immer in denselben Ebenen mit den Buschmännern, sind denselben klimatischen Einflüssen unterworfen, leiden denselben Durst und genießen seit Jahrhunderten dieselbe Nahrung wie die Buschmänner, unterscheiden sich aber noch immer sehr auffällig von diesen mutvollen und freiheitsstolzen eingeborenen Jägern der Wüste. Die Bakalahari bauen noch alljährlich, wie einst in reicherer Heimat, ihre Gärten, von denen sie hier nur Melonen und Kürbisse erwarten können, halten kleine Ziegenherden, obwohl sie, wie Livingstone als Augenzeuge berichtet, das Wasser für dieselben mit Straußeneierschalen oder löffelweise aus den sparsamen Brunnen schöpfen müssen. Sie zeigen in vielen Beziehungen eine Degradation durch Hunger und



Sagopalme (Cycas revoluta). Vgl. Text, S. 335.

Durst. „Die Bakalahari sind", sagt Livingstone, „sehr schüchtern und haben nach ihrer körperlichen Entwickelung oft große Ähnlichkeit mit den Eingeborenen von Australien. Sie haben dünne Beine und Arme und große, aufgetriebene Hängebäuche, welche von ihrer schlechten, unverdaulichen Kost herrühren. Die Augen der Kinder entbehren alles Glanzes, und ich sah sie nie scherzen und spielen. Eine kleine Anzahl Betschuanen kann in ein Bakalaharidorf gehen und die ganze Einwohnerschaft desselben ungestraft tyrannisieren; stoßen aber diese nämlichen Abenteurer auf Buschmänner, so verwandeln sie ihr Betragen sogleich in die kriechendste Schmeichelei, denn sie wissen recht gut, daß, wenn sie die Bitte der Buschmänner um Tabak abschlagen, diese freien Söhne der Wüste gar zu leicht geneigt sind, sich durch vergiftete Pfeile in den Besitz desselben zu setzen." Die Furcht vor den Besuchen der Betschuanen fremder Stämme veranlaßt die Bakalahari, ihre Wohnsitze fern von Wasseransammlungen zu wählen, und sie verbergen ihre Vorräte zuweilen dadurch, daß sie die Gruben mit Sand füllen und ein Feuer über der Stelle anmachen. Wenn sie Wasser zu ihrem Gebrauch holen wollen, so kommen die Weiber mit 20—30 Wassergefäßen in einem Sacke oder Netze auf dem Rücken an eine feuchte Stelle, an welcher sie unter

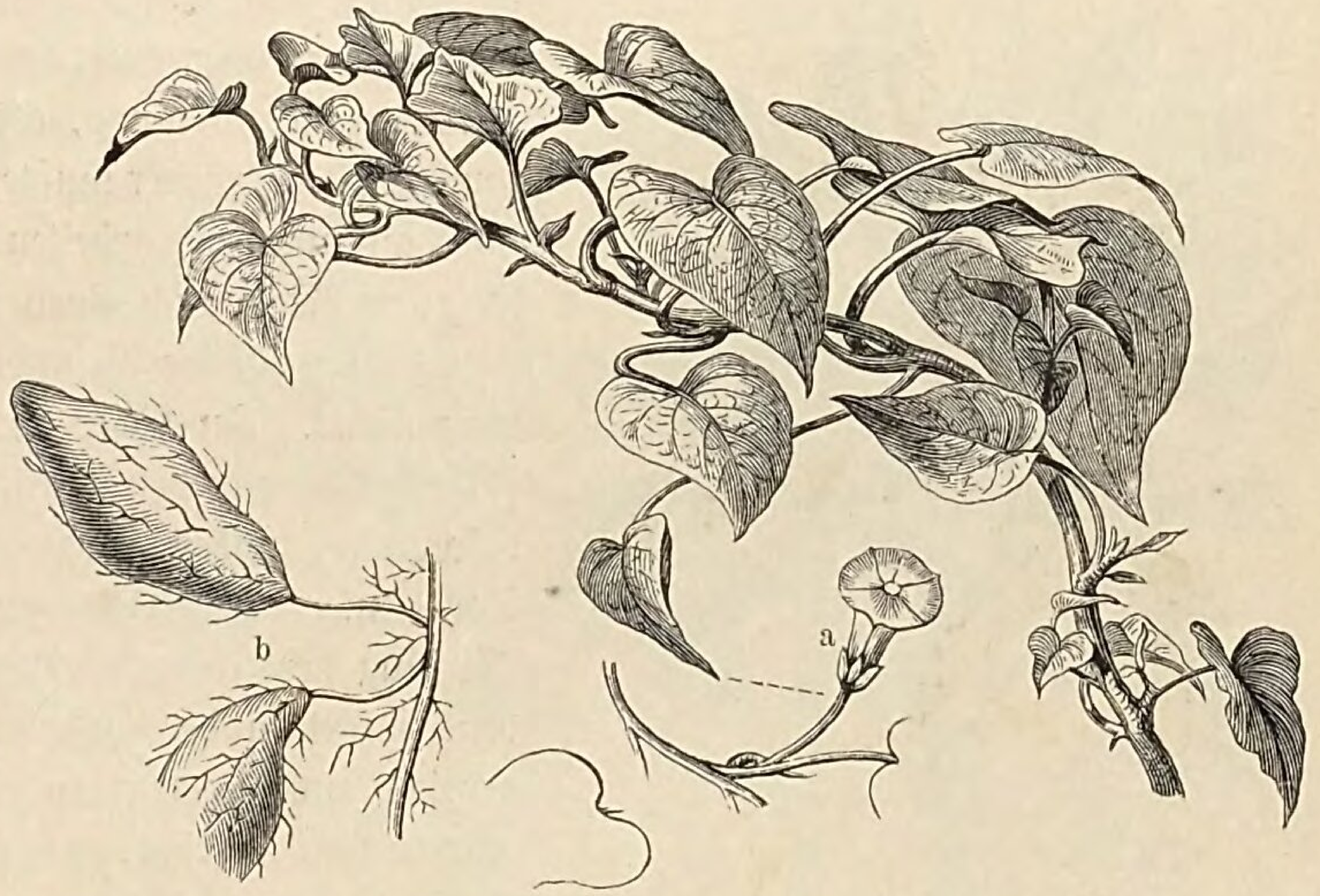
dem Sande Grundwasser vermuten dürfen. Diese Wassergefäße bestehen aus den Schalen von Straußeneiern, deren jede ein Loch an dem einen Ende hat, gerade groß genug, daß man mit dem Finger hinein kann. Die Weiber binden ein Büschel Gras an das Ende eines ungefähr 2 Fuß langen Schilfrohres und stecken dieses in ein Loch, das sie in den feuchten Boden so tief gegraben haben, als ihr Arm reicht; dann stampfen sie den feuchten Sand um das Schilfrohr wieder fest. Bringen sie nun den Mund an das offene Ende des Rohres und saugen daran, so bildet sich unten in dem Grase ein leerer Raum, in welchem sich das Wasser sammelt und in kurzer Zeit bis zum Munde emporsteigt. Eine Eierschale wird nun neben dem Schilfrohr auf den Boden gesetzt, einige Zoll unter dem Munde der Saugenden. Ein Strohhalm leitet das Wasser in die Höhlung des Gefäßes, während sie es einen Mund voll um den anderen heraufziehen. Das Wasser läßt man an der Außenseite des Strohhalmes, nicht durch denselben, hinablaufen. Der ganze Vorrat muß auf diese Weise durch den Mund des Weibes wie durch eine Pumpe gehen und wird, sobald er nach Hause gebracht worden ist, sorgfältig vergraben. „Ich bin“, schrieb Livingstone, „in Dörfer gekommen, wo wir, wenn wir irgend trotzig und gebieterisch aufgetreten wären und jede Hütte durchstöbert hätten, doch nichts gefunden haben würden; allein wenn wir uns ruhig niederließen und geduldig warteten, bis die Dorfbewohner zu einer günstigen Meinung über uns gekommen waren, so brachte bald ein Weib eine Eierschale voll von dem ‚köstlichen Naß‘ aus irgend einem unbekannten Versteck hervor.“



Yamswurzel (Dioscorea Batatas). a) Blüte, b) Wurzel. Vgl. Text, S. 336.

Die Bakalahari, einst an reichere Verhältnisse gewöhnt, nun in den Zustand bittersten Mangels versetzt, sind aus einem kräftigen, wohlgewachsenen mutigen Stamme zu dieser geistigen und körperlichen Erbärmlichkeit herabgesunken. Wir haben auch in anderweitigen Beobachtungen genügendes Material, um die erschreckende Lehre festzustellen, daß ganze Völker und Bevölkerungsklassen wie der Einzelne durch dauernden Nahrungsmangel in hohem Grade psychisch wie somatisch herunterkommen. Wir brauchen, um das zu beweisen, nicht in die wasserlosen Wüsten des südlichen Afrika, nicht nach Australien zu blicken, Europa selbst bietet uns genug Stoff dar zu Betrachtungen über die tief schädigenden Einflüsse unzureichender Nahrung, namentlich wenn der Nahrungsmangel noch verbunden ist mit Frieren und aufreibender körperlicher Arbeit. Der Arme in unserem Klima befindet sich der Winterkälte gegenüber in einem weit schlechteren Verhältnis als der Polarländer, dessen Pelzbekleidung den Wärmeverlust herabsetzt, in dessen Wohnung meistens künstlich die Temperatur eines südlichen Klimas erhalten wird. Bei einem schlecht und ungenügend gekleideten Individuum in Mitteleuropa, welches gezwungen ist, sich bei Winterkälte im Freien oder in der kalten, mangelhaft geheizten Wohnung aufzuhalten, tritt ein gesteigerter Wärmeverlust ein. Die natürliche physiologische Regulierung der Wärmeabgabe des menschlichen Körpers reicht unter solch extremen Bedingungen nicht aus, den Wärmeverlust konstant zu erhalten,

wenn sie nicht durch künstliche Regulationsmittel: Heizung und warme Kleidung, unterstützt wird. Da dem Armen auch das wesentlichste Wärmeregulationsmoment abgeht, eine reichlichere Ernährung bei kälterer Temperatur, so steigt sein Stoffverbrauch durch die Kälte auf Kosten seines Körpers an, um den erhöhten Wärmeverlust zu decken. Kälte wirkt für den ungenügend erwärmten und ernährten Armen direkt wie Hunger, sie verzehrt das Stoffmaterial seines Körpers wie dieser. Der Arme verfällt in den dekrepiden Zustand eines „minimalen Lebens“, in den Zustand des langsamen Verhungerns, der sich in seinen Gesichtszügen, in seinem ganzen Aussehen, in seinem physiologischen und psychologischen Verhalten offenbart. Die Abmagerung und Körperschwäche, das greisenhafte Gesicht jugendlicher Individuen, entstellt durch eine graue, lehmige Blässe, die Farblosigkeit der Lippen, das sind Symptome des langsamen Verhungerns; die feuchtkalten Hände, der starre, trübe Blick der eingesunkenen Augen, welche nur den Verlust aller Lebenshoffnung, jeglicher Spannung des Körpers und Geistes oder rasch aufflackernde wilde Leidenschaften ausdrücken können, vervollkommnen das schreckliche Bild. Es ist ganz charakteristisch für den Zustand chronischen Hungers, daß er die Thatkraft zur Veränderung der jämmerlichen Lage vernichtet.



Batate (Batatas edulis). a) Blüte, b) Wurzel. Vgl. Text, S. 337.

Livingstone schildert die Verwüstungen, welche Sklavenjagd und darauf folgende Hungersnot in dem einst blühend angebauten, nun aber mit Tausenden unbegrabener Leichen bedeckten Schirethal unter den schwarzen Bewohnern angerichtet hatte. „Anstatt freundlicher Dörfer und Volkshaufen, die mit zu verkaufenden Gegenständen kamen, war kaum eine Seele zu sehen, und wenn man durch Zufall einen Eingeborenen traf, so trug seine Gestalt den Eindruck des Hungers und sein Gesicht den Ausdruck einer kriechenden, niedergeschlagenen Gemütsstimmung. Die wenigen Unglücklichen, welche noch lebten, wurden von einer gefühllosen Schlaffheit überwältigt. Sie machten kaum den Versuch, etwas anzubauen, was bei Leuten, die der Landwirtschaft so ergeben sind wie sie, sehr auffallend war. Man sah sie täglich die Getreidehalme verschlingen, welche in den alten Anpflanzungen aufsproßten und die, in Ruhe gelassen, in einem Monat Getreide geliefert haben würden. Sie ließen sich aus ihrer Schlaffheit nicht aufregen. Hungersnot betäubt alle Kräfte. Wir machten den Versuch, einige dahin zu bringen, daß sie sich anstrengen sollten, um sich Nahrung zu verschaffen; aber er schlug fehl. Sie hatten ihren ganzen früheren Geist verloren und antworteten auf jeden zu ihrem Besten gemachten Vorschlag mit glanzlosen Augen, welche den unsrigen kaum begegneten, und in wimmernden Tönen: Nein, nein! (ai, ai!).“

Der Hunger wird in seinen verderblichen Wirkungen wie durch Kälte so durch Muskelarbeit noch in hohem Maße gesteigert. Es ist experimentell nachgewiesen, daß durch übermäßige Arbeit ohne genügenden Ersatz in der Nahrung ein Teil des Blutes verzehrt wird und die Muskeln

wasserreicher werden. Arbeit wirkt in dieser Hinsicht also wie Hunger und Kälte. Umgekehrt sehen wir Individuen bei gewohnheitsmäßiger starker Muskelleistung und reichlicher Ernährung blutreicher werden und den Wassergehalt ihrer Muskeln sich vermindern. Während Arbeit mit entsprechender Ernährung den Menschen kräftigt, bringt Arbeit mit ungenügender Nahrung einen rapiden Verfall hervor. Namentlich in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts hatte man nur zu oft Gelegenheit, diesen verschlechternden Einfluß der übermäßigen Arbeit auf den Gesundheitszustand unserer Arbeiterbevölkerungen zu konstatieren. Wir verdanken dem königlichen Fabrikinspektor Alex. Redgrave eine anschauliche Schilderung der sanitären Arbeiterzustände während des letzten Jahrhunderts in den englischen Fabrikdistrikten. Es entfaltete, wie er berichtet, zunächst die Einrichtung großer, mit Dampf arbeitender Fabriken die schädlichsten Einflüsse auf die Gesundheit der Arbeiter. Ohne Rücksicht auf den Wert des menschlichen Lebens, der Gesundheit und des Glückes, ohne genügende Vorbereitung für die Gesunderhaltung der Fabrikbevölkerung wurden die Maschinen in Bewegung gesetzt während einer täglichen Stundenzahl, so lange, als sie den Kapitalisten gut deuchte. Der Arbeiter mußte, um die Dampfkraft möglichst auszunutzen, arbeiten täglich, den ganzen Tag lang, vielleicht auch einen Teil der Nacht; für seine Ernährung, für die Gesundheit der Arbeitsräume that man nichts. In dieser Periode geschah es, daß der Fabrikarbeiter in den schwächlichen, blutarmen, häufig dekrepiden, in den ausgezehrten und niedergetretenen Tagelöhner verwandelt wurde. Es prägte sich die Wirkung der Überarbeitung und des ungesunden Lebens sofort in der äußeren Erscheinung der Fabrikarbeiter aus, sie wurden, schließt Redgrave seinen ergreifenden Bericht, zu einer besonderen niederen Rasse, die man auf den ersten Blick erkennen konnte.



Kassawastrauch (Manihot utilissima). a) Blüte. Vgl. Text, S. 337.

Was damals von England galt, galt auch im allgemeinen von allen Fabrikdistrikten. Nun ist ja schon manches in dieser Hinsicht besser geworden. Aber besonders muß noch immer vor körperlicher Überanstrengung von Frauen und Kindern in Fabriken gewarnt werden. Alle körperlichen schädlichen Einwirkungen werden von den an sich schwächlicheren Individuen schlechter ertragen.

Wir können hier nicht im einzelnen auf die durch äußere Ursachen eintretende Verschlechterung der Menschennatur eingehen, Verschlechterung, der sowohl Körper als Geist unterliegen. Nur darauf wollen wir hier noch einmal speziell hinweisen, daß eine ungenügende Ernährung, und noch in gesteigertem Maße, wenn sich mit ihr harte Arbeit und Kälte verbinden, bald Blutmangel herbeiführt. Wir wissen, daß der Organismus, um gesund zu sein, einer bestimmten, nicht unter ein fixes Minimalmaß herabsinkenden Blutmenge bedarf. Die häufigste Ursache von krankhafter Blutarmut, von allgemeiner Anämie, ist fortgesetzte ungenügende Ernährung. Einmalige, wenn auch sehr beträchtliche Blutverluste bedingen weit seltener einen dauernden anämischen Zustand, da sich unter normaler Ernährung das verlorene Blut rasch und vollständig ersetzt. Dagegen begünstigen häufig wiederholte geringere Blutverluste, wie sie namentlich bei dem weiblichen Geschlecht oft noch verbunden mit mangelhafter Ernährung sich einzustellen pflegen, dieses den ganzen Organismus tief in seinen Funktionen beeinträchtigende Leiden. Finden solche

Schwächungen des Organismus, wenn auch im Einzelfalle nur durch kleinere Blutverluste oder durch Zeiten des Mangels, häufig statt, so wird das sich wieder ersetzende Blut immer ärmer an roten Blutkörperchen und rotem Blutfarbstoff und immer reicher an Wasser. Die fahle Blässe der Haut, welche die wahre allgemeine Blutarmut kennzeichnet, ist ein Resultat der geringeren Färbekraft des auch in seiner Gesamtmenge verminderten Blutes, welches die Adern der Haut weniger stark anfüllt, und dessen weniger tiefrote Farbe schwächer durch die Gefäßwandungen hindurchscheint. Die erste Folge der allgemeinen Blutleere ist eine Schwächung der Lebensenergie aller Organe, namentlich aber des Herzens, dessen Bewegungen energielos und unregelmäßig werden. In diesem Zustand ruft jede, auch geringe nervöse Erregung Störungen in der Blutbewegung hervor, indem relativ überstarker Blutzufluß zu den gerade thätigen Organen eintritt. So sehen wir plötzliche Röte sich über vorher totenbleiche Wangen, Hals und Nacken ergießen, wenn eine leichte körperliche oder physische Erregung das Blut dem Kopfe zutreibt. Namentlich die Hände und die Nägel sind bei Blutleeren wachsbleich. Die allgemeine Anämie kann nur durch Verbesserung der Ernährung gehoben werden. Die hierauf gerichteten Bemühungen werden aber gar oft gehindert durch eine krankhafte Abneigung Blutleerer gegen eine normale Ernährung. Mit der allgemeinen Schwächung der Organthätigkeiten infolge des Blutmangels leiden auch die Verdauungsorgane, und nur mit großer Vorsicht und nach und nach gelangen sie durch eine allgemeine Kräftigung des Organismus auch wieder zu einer normalen Ernährungsfähigkeit. Günstig wirken alle Momente, welche auf eine Kräftigung der Organthätigkeiten, namentlich des Herzens, hinwirken; geregelte, mit den zunehmenden Kräften steigende Bewegung in frischer Luft des Gebirges oder Seestrandes wirkt oft mehr als alle ärztlichen Mittel.



Pfeilwurz (Maranta arundinacea). a) Blüte. Vgl. Text, S. 337.

Ein der allgemeinen Blutleere verwandter, aber von ihr doch verschiedener Zustand, der sich ebenfalls aus Ernährungsstörungen herauszubilden vermag, wird als **Bleichsucht**, Chlorose, bezeichnet. Auch hier ist das Blut wässeriger und ärmer an Blutrot, als es normal sein sollte. Die gelblich-bleiche Gesichtsfarbe, die wächsernen Hände und Nägel, die fliegende Röte auf den rasch wieder erblassenden Wangen bei jeglicher Anstrengung charakterisieren äußerlich beide Zustände. Die Bleichsucht ist aber weniger die Folge einer Verminderung des Blutes im ganzen und der Anzahl seiner Blutkörperchen als einer krankhaften Verminderung des roten Blutfarbstoffes in den letzteren. Der rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin, ist, wie wir wissen, eisenhaltig; es bedarf zu seiner Bildung einer genügenden Zufuhr von Eisen in den Bestandteilen der Nahrung, in 24 Stunden nach von Hößlin etwa 17 Milligramm. Bekannt ist, wie günstig die medikamentöse Zufuhr von Eisen (Stahl) bei Bleichsucht wirkt. Nicht nur bei jungen Mädchen, auch bei Knaben und Männern, bei diesen namentlich in tropischen Klimaten, findet sich dieser Krankheitszustand mit all seinen wechselnden Symptomen. Diese lassen sich der Mehrzahl nach

auf mangelnde Energie der Thätigkeit der Organe beziehen, welche zu ihrer Normalerhaltung einer ausreichenden Menge des Blutrotes nicht entbehren können. Die Schwäche des Herzens und der gesamten Körpermuskulatur, die Verdauungsstörungen und die nervöse Überreizung fallen in die Gruppe jener Organveränderungen, welche sich bei der Muskel- und Nerventhätigkeit in so auffallender Weise als objektive Ermüdung zu erkennen geben. Die Bleichsucht befällt sowohl animale Wesen als Pflanzen. Bei den letzteren sehen wir, namentlich bei mangelnder Einwirkung des Lichtes und, wie man behauptet hat, ungenügender Eisenzufuhr in der Ernährung, in den Schößlingen einen Mangel an Farbstoffbildung (Blattgrün) eintreten. Lassen wir Licht und qualitativ genügende Nahrung auf die wachsende Pflanze einwirken, so färben sich die bleichen Triebe, und das Wachstum wird ein normales. Auch beim Menschen verbindet sich in unseren Klimaten meist Mangel des Lichtgenusses mit dem mangelnden Eisengehalt der Nahrung zur Hervorbringung der Chlorose. Mädchen, welche gezwungen sind, z. B. als Näherinnen, eine sitzende Lebensweise, eingesperrt in dumpfe, kleine Wohnräume bei schlechter Nahrung, zu führen, werden nur gar zu häufig von dieser Störung, welche sich dann gewöhnlich mit wahrer Blutleere vereinigt, befallen. Ein zwischen Anämie und Chlorose (Blutleere und Bleichsucht) schwankender Zustand bildet sich bei beiden Geschlechtern in Fiebergegenden, namentlich in heißer, sumpfiger Umgebung, aus.

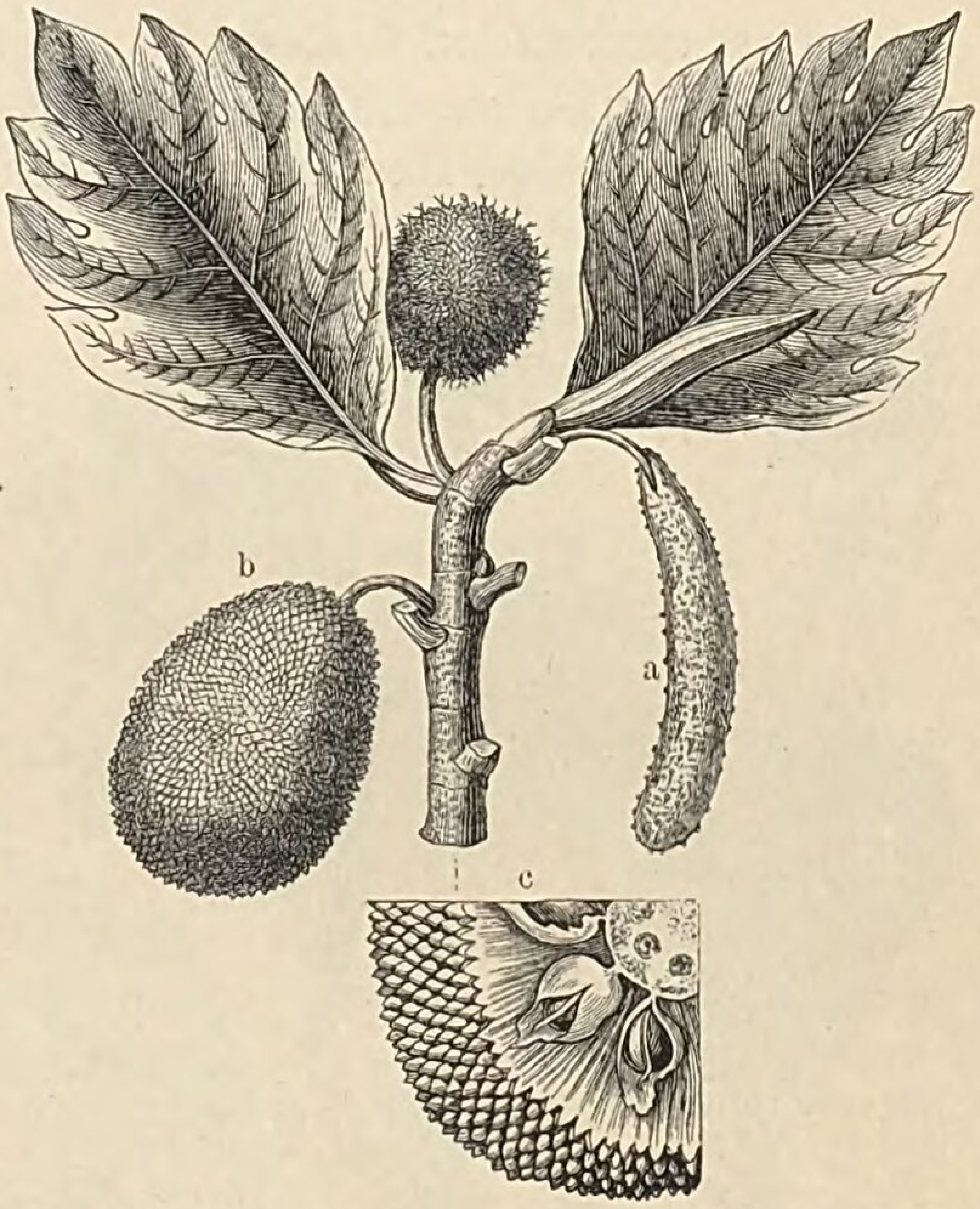
Die Nahrungsmittel des Menschen.

In den vorstehenden Untersuchungen haben wir die einfachen Nährstoffe kennen gelernt, welche der Mensch genießt, und die Art und Weise, wie sie im Organismus verarbeitet werden, um, einmal in die Säftemasse desselben aufgenommen, den physiologischen Aufgaben des Lebens zu dienen. Wir wenden uns nun der Frage zu: Welche Naturprodukte sind es, die dem Menschen in den verschiedenen Erdteilen und Klimaten Nahrung geben? Es kann freilich nicht unsere Absicht sein, hier eine Geographie der Nahrungsmittel zu liefern; es ist das eine der wesentlichsten Aufgaben der Ethnographie. Für den vorliegenden Zweck handelt es sich nur um eine orientierende Übersicht, wesentlich nur um eine Aufzählung zur einleitenden Verständigung über die wichtigsten Probleme der Ernährungsphysiologie.

„Dem Menschen schmeckt alles." Unstreitig ein wahres Wort, welches am Ende des vorigen Jahrhunderts der berühmte Physiolog A. von Haller in seiner Darstellung der Nahrungsmittel des Menschen aufstellte. Wir brauchen, um das zu beweisen, nicht nach Australien oder Afrika zu gehen, wohin uns die Ethnographen dafür zu weisen pflegen. Bekannt ist die betreffende Stelle in O. Peschels „Völkerkunde": „Alfred Lortsch bemerkt von den Australiern, sie verzehrten neben den Beuteltieren alle Vögel, selbst Aasgeier, Aale und Fische jeder Art, Fledermäuse, darunter auch fliegende Hunde, Frösche, Eidechsen, Schlangen, Würmer". Einer ähnlichen Aufzählung begegnen wir bei Schweinfurth, der von den Bongo- und Dor-Negern versichert, daß sie, mit Ausnahme von Hund und Mensch, kein tierisches Nahrungsmittel, auch nicht Ratten, Schlangen, Aasgeier, Hyänen, fette Erdskorpione, geflügelte Termiten und Raupen, sich entgehen lassen. F. Appun berichtet über die Indianer Britisch-Guayanas: „Wild und Fische bilden ihre Hauptnahrung, doch verschmähen sie auch Ratten, Affen, Alligatoren, Frösche, Würmer, Raupen, Ameisen, Larven und Käfer nicht. Der Ekel vor irgend einer Kost beruht nur auf Übereinkommen oder auf dem ‚Grauen vor dem Unbekannten'. Auch haben gesittete Europäer wenig Berechtigung, zu schaudern, daß die Chinesen Schwalbennester und Trepang (Holothurien) zu den besten Leckerbissen rechnen oder in Arabien die Heuschreckenzüge wie ein gottgesendeter Festschmaus begrüßt

werden, da sie selbst weder vor den Verdauungsrückständen der Schnepfen noch vor Hummern und Flußkrebsen zurückweichen, welchen letzteren doch zur Reinigung ihrer Wassergebiete das Geschäft obliegt, gleichzeitig als Grab und Totengräber zu dienen."

Wir beginnen unsere Übersicht mit der Betrachtung der eigentlichen Nährpflanzen, welche uns Mehlfrüchte liefern. Unter diesem gemeinsamen Namen dürfen wir die Getreidegräser, Getreidekräuter, Hülsenfrüchte und eine Reihe anderer zu verschiedenen botanischen Gruppen gehöriger Pflanzen zusammenfassen. Am wichtigsten sind darunter unstreitig die Getreidegräser, aus deren Körnern Mehl bereitet wird. Wie für zahlreiche Haustiere, so können wir auch für unsere wichtigsten Getreidearten: Weizen, Spelz, Roggen, Gerste, Hafer, die Urheimat nicht mit voller Sicherheit angeben. Wahrscheinlich stammen sie aber aus Mittelasien, wo sich in der Gegend des Euphrat Weizen, Dinkel und Gerste wild finden sollen. Der Weizen, Triticum vulgare, T. durum und T. spelta, beansprucht zu seiner vollen Ausreifung eine mittlere Sommerwärme von wenigstens + 14° C. Daher zieht sich die Weizenkultur von der subtropischen durch die wärmere und kältere Zone. Die Grenze der Weizenkultur ist, dieser Isothere entsprechend, in Schottland unter dem 58.°, in Skandinavien unter dem 64.°, im inneren Rußland unter dem 60.°, in Nordamerika unter dem 50.° südlicher Breite. Da der Weizen eine beträchtlich höhere Temperatur (über 20—21°) ebensowenig wie eine niedrigere erträgt, so kann sein Anbau in heißen Gegenden nur noch auf Berghöhen stattfinden; in der Nähe des Äquators baut man Weizen bis zu einer Höhe von etwa 3000 m. Der Spelt oder Dinkel, Triticum spelta, vielfach in Süddeutschland und der östlichen Schweiz angebaut, erscheint seit uralten Zeiten in Griechenland und Italien einheimisch. Die Kultur des Roggens, Secale cereale, ist hauptsächlich an die subarktische Zone gebunden, ihre Grenze findet sie im Nordwesten bei 67°, im inneren Rußland schon bei 62,5°. Den Anbau von Gerste, Hordeum vulgare, und Hafer, Avena sativa, gestattet noch die subarktische und arktische Zone. In Schottland geht der Anbau des Hafers bis zu 58,5°, in Norwegen bis zu 65°, in Schweden bis zu 63,5°, in Rußland fällt seine Nordgrenze mit der der Roggenkultur annähernd zusammen. Die Gerste ist unsere am weitesten nach Norden vordringende Getreidepflanze. Da ihr schon eine mittlere Sommertemperatur von 8° zur Entwickelung genügt, so gedeiht sie noch im nördlichsten Schottland, auf den Orkaden und selbst den Färöern, am Nordkap noch unter 70°, am Weißen Meere unter dem Polarkreis. Auf den mitteleuropäischen Alpen steigt ihr Anbau bis auf eine Höhe von fast 1000, in Südamerika von etwa 2500 und im Himalaja auf 5000 m. Das Vaterland des Reises, Oryza sativa (s. Abbildung, S. 323), ist Asien. Er bedarf einer mittleren Sommerwärme von 23° neben viel Feuchtigkeit; vom Äquator reicht sein Anbau bis zum 45.° In Europa findet der Reisbau seine Nordgrenze in der Lombardei und Piemont. Er bildet das Hauptgetreide in Südasien und ist von da nach



Brotfruchtbaum (Artocarpus incisa). a) Blüte, b) Frucht, c) aufgeschnittenes Fruchtstück. Vgl. Text, S. 338.

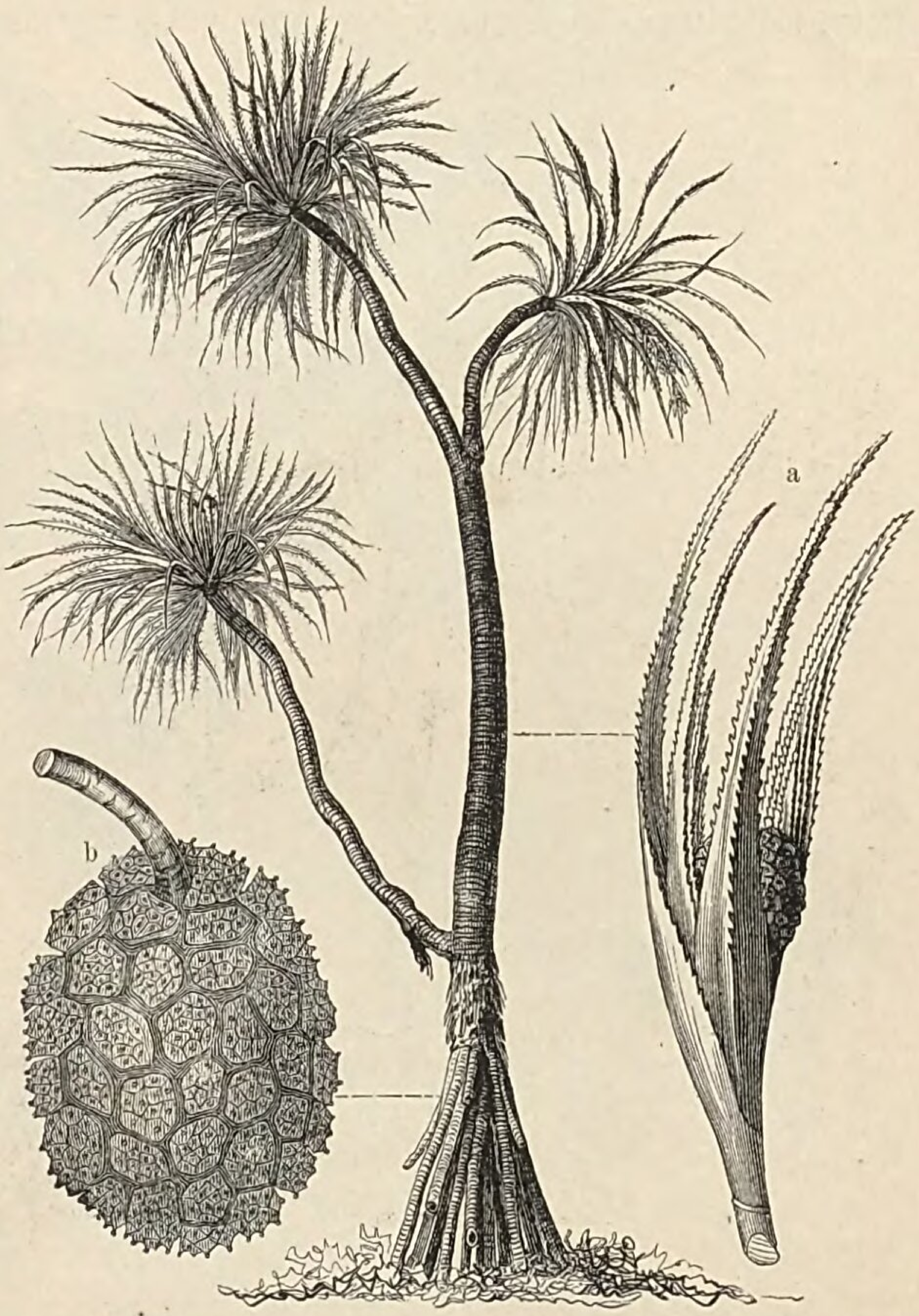
den Küsten des Mittelmeeres und von dort aus auch mehrfach landeinwärts gewandert, auch nach Amerika. Reis ist das Hauptnahrungsmittel des größten Teiles des Menschengeschlechts und zwar in der Äquatorial- und Tropenzone der Alten Welt sowie der tropischen und subtropischen Zone Amerikas. Mais oder Welschkorn, Zea maïs, stammt aus dem heißen Amerika, von wo er bis zum 50.° im Norden und 40.° im Süden vordringt; er kann überall da gebaut werden, wo die mittlere Sommertemperatur wenigstens 18° beträgt, in Europa bis zum 50., ja 52.° Mais ist nun weit in die zentralen Gegenden Asiens und Afrikas eingedrungen. Das eigentliche Getreide von Afrika und die Hauptnahrungspflanze seiner Tropenländer ist die Sorghohirse, Negerkorn, Durra, Mohrenhirse oder Guineakorn, alles Bezeichnungen für Sorghum vulgare. Sie wird auch in Portugal und Toscana sowie in Arabien und Ostindien gebaut. In Ostindien wird daneben eine echte Hirseart, Panicum frumentaceum, kultiviert. Die „echte Hirse" ist Panicum miliaceum, ebenfalls aus Ostindien stammend. Sie wird häufig bei uns, besonders in Sandgegenden, innerhalb der Weingrenze angebaut und in Italien und Arabien vielfach zum Brotbacken benutzt. In Ostindien wird das krummährige Kammgras, Eleusine crocana, wegen seiner mehlreichen, hirseähnlichen Samen als Nahrungsmittel angebaut, auch wohl Eleusine (Spartina) stricta. Auf dem Hochland von Abessinien wird eine Kammgrasart, Eleusine tocusso und Poa abyssinica, unter dem Namen Teff als Getreide gezogen. In Südeuropa wird hier und da auch das Mehl des kanarischen Glanzgrases, Phalaris canariensis, welches namentlich als Futter für Singvögel angebaut wird, unter Weizenmehl zu Brot verbacken. Die geschroteten Körner des bei uns einheimischen Flußrispengrases, Glyceria (Poa) fluitans, liefern die Mannagrütze, die polnische oder preußische Manna. Noch eine Anzahl anderer, bis jetzt nicht kultivierter Graspflanzen wird vom Menschen, zeitweilig wenigstens, zur Nahrung benutzt. In Nordamerika sammeln die Eingeborenen die Ähren der Sumpfhirse, Zizania aquatica; an den Weihern, Stauwassern und Nebenarmen des brasilischen Rio Negro wächst als Grasteppich der wilde Reis, Oryza subulata, dessen reife Körner der Ansiedler, wie von Martius sagte, im Vorüberfahren nur in seinen Kahn abzustreifen braucht. In den Teichen des Bongolandes, im Gebiet des Gazellenflusses, wächst eine andere, von den Baggara-Arabern und in Dar Fur als wohlschmeckendes Nahrungsmittel geschätzte wilde Reisart, Oryza punctata.



Feigenbaum (Ficus carica). a) Blüte, b) Frucht, c) aufgeschnittene Frucht, d) Same. Vgl. Text, S. 338.

Außer den Getreidegräsern gibt es auch eigentliche Getreidekräuter, welche in ihren Früchten Mehl liefern. Das wichtigste ist der Buchweizen oder das Heidekorn, Polygonum fagopyrum, der in einem großen Teil Nordeuropas, in Polen, im östlichen Deutschland, in Sibirien und auf den Plateaulandschaften des inneren Asien angebaut wird. In Chile und Peru geht der Anbau der Quinoapflanze, Chenopodium Quinoa (s. Abbildung, S. 324), bis auf eine Höhe von 4000 m, wo Roggen und Gerste nicht mehr gedeihen; ihre Samen werden in einem großen Teil Südamerikas an Stelle des Getreides vielfach benutzt.

Von geringerer Bedeutung als Hauptnahrungsmittel der Menschheit sind die ebenfalls Mehl liefernden, meist auch aus dem Orient stammenden Hülsenpflanzen, Leguminosen, mit den Erbsenarten Pisum sativum, P. vulgare, P. sagarratum und anderen, den Linsen Ervum lens und anderen, ferner die Bohnen Phaseolus vulgaris, aus Ostindien, P. multiflorus, Feuerbohne aus Südamerika, die Wicken Vicia faba, die große Sau- oder Buffbohne aus Ägypten und Persien (die Saubohne wurde nebst der Futterwicke, Vicia sativa, allgemein im klassischen Altertum, namentlich auch in Italien, gebaut und als eine grobe Speise zu Brot, Kuchen und Bohnenbrei verbraucht; ihr Genuß wurde von Pythagoras seinen Schülern bekanntlich verboten). Die Wolfsbohnen oder Feigbohnen, Lupinus albus und L. luteus, die weißen und gelben, namentlich aber Lupinus hirsutus, waren im klassischen Altertum auch als Speise für Menschen beliebt und spielten namentlich in der Nahrung der cynischen Philosophen eine Rolle; heute werden sie noch auf der Halbinsel Maina (Lakonien) als Menschennahrung gebaut. Die Kichererbse, Cicer arietinum (s. Abbild., S. 325), wird in Südeuropa und Süddeutschland häufig als Nahrungsmittel, wie Erbsen und Bohnen, kultiviert; bei den Römern galten geröstete Kichern als Armenkost. In einigen Gegenden Südeuropas tritt auch die Spargel- oder Flügelerbse, Tetragonolobus purpurea oder Lotus tetragonolobus, als Gemüsepflanze an Stelle von Erbsen.



Schraubenbaum (Pandanus odoratissimus). a) Blüte, b) Frucht. Vgl. Text, S. 338.

Mehl liefern aber noch eine Reihe anderer Pflanzen, vorzüglich Palmenarten, und zwar vielfach in dem Mark ihrer Stämme. In Ostindien, namentlich aber auf den Molukken, bilden die Sagopalmen, Sagus rumphii (s. Abbild., S. 326) und S. farinifera, ganze Waldungen. Der innere Teil des Stammes ist ganz mit weichem, weißem Mark gefüllt, welches das als Sago bekannte reine Stärkemehl enthält, wovon ein Baum bis zu 5 Zentner liefern kann. Die Zuckerpalme, Arenga saccharifera, in den Wäldern Ostindiens und Ostafrikas, enthält ebenfalls viel Mehl in ihrem Mark; eine geringe Sorte Sago liefert auch die ostindische Schirmpalme, Corypha umbraculifera. Zu den Sago liefernden Bäumen gehört auch die Familie der Cikadeen, die Cycas circinalis, der Sagobaum, fälschlich auch als Sagopalme bezeichnet, in Ostindien, dann Cycas revoluta (s. Abbildung, S. 327) in China und Zamia lanuginosa in Südafrika. Aus dem Mark des echten Zuckerrohres, Saccharum officinarum, wohl von den Ufern des Euphrat stammend, durch die Araber im 12. Jahrhundert nach Ägypten, Sizilien und Malta verpflanzt

und von hier aus weiter verbreitet, wird der als Nahrungsstoff wichtige Rohrzucker gewonnen. Der Hauptnahrungsstoff, welchen die eßbaren Wurzeln enthalten, ist ebenfalls Stärkemehl neben Zucker (z. B. Zuckerrüben) und wenig Eiweißstoffen.

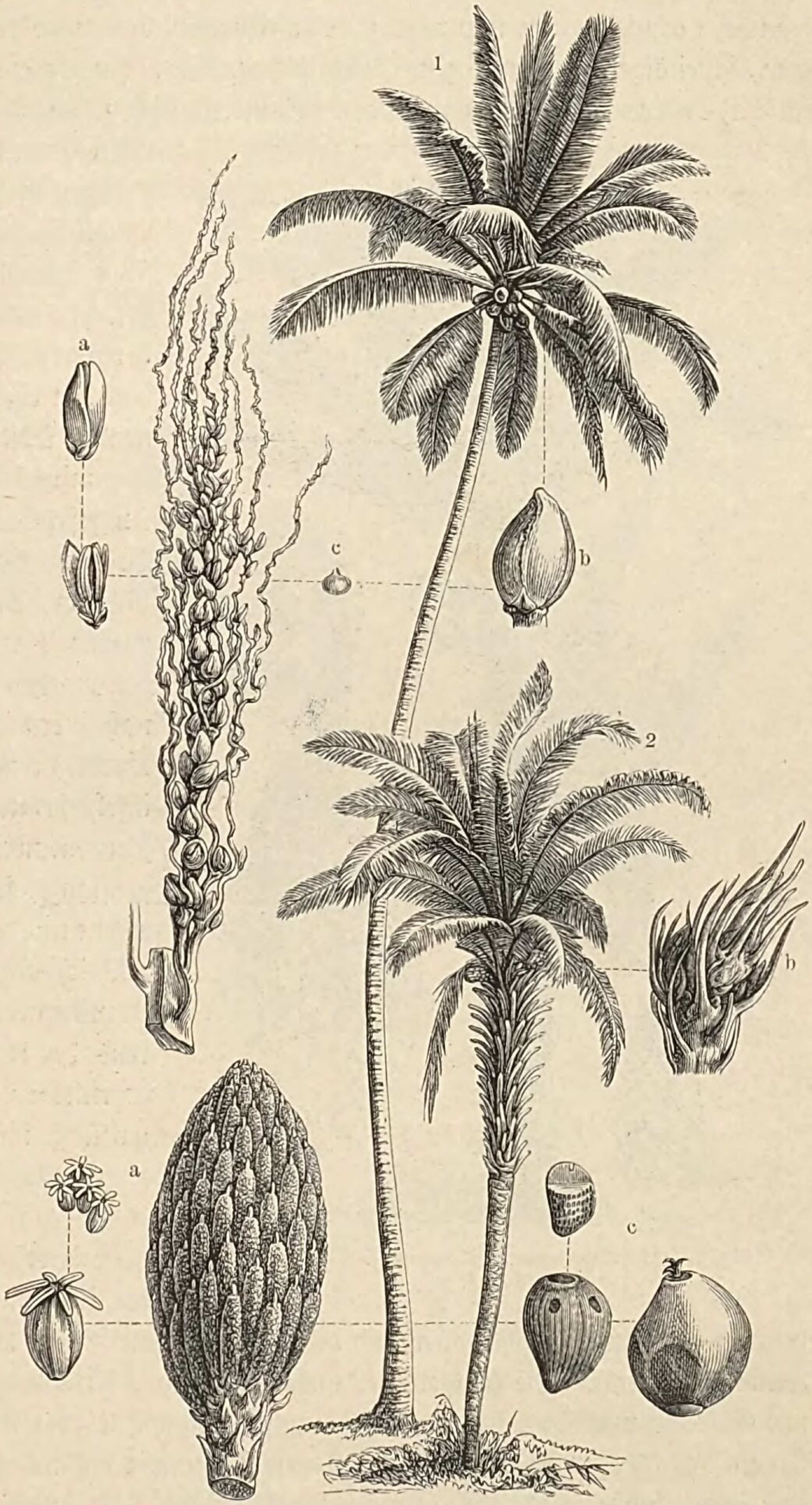
Als Nährwurzeln sind am wertvollsten: Die Kartoffel, Solanum tuberosum, deren Heimat die kalten Höhen der Anden in Amerika sind, wo sie noch jetzt in Chile, Peru und Mexiko wild wächst. Sie verträgt ein noch kälteres Klima als die Gerste und also alle Getreidekultur, so daß eine Kartoffelvarietät sogar auf Island gezogen werden kann. Die Wurzel von Taro oder Kolo, Caladium esculentum, einer callaähnlichen Pflanze, ist unter den Tropen, vorzüglich in



Banane (Musa sapientium). a) Blüte, b) Frucht. Vgl. Text, S. 338.

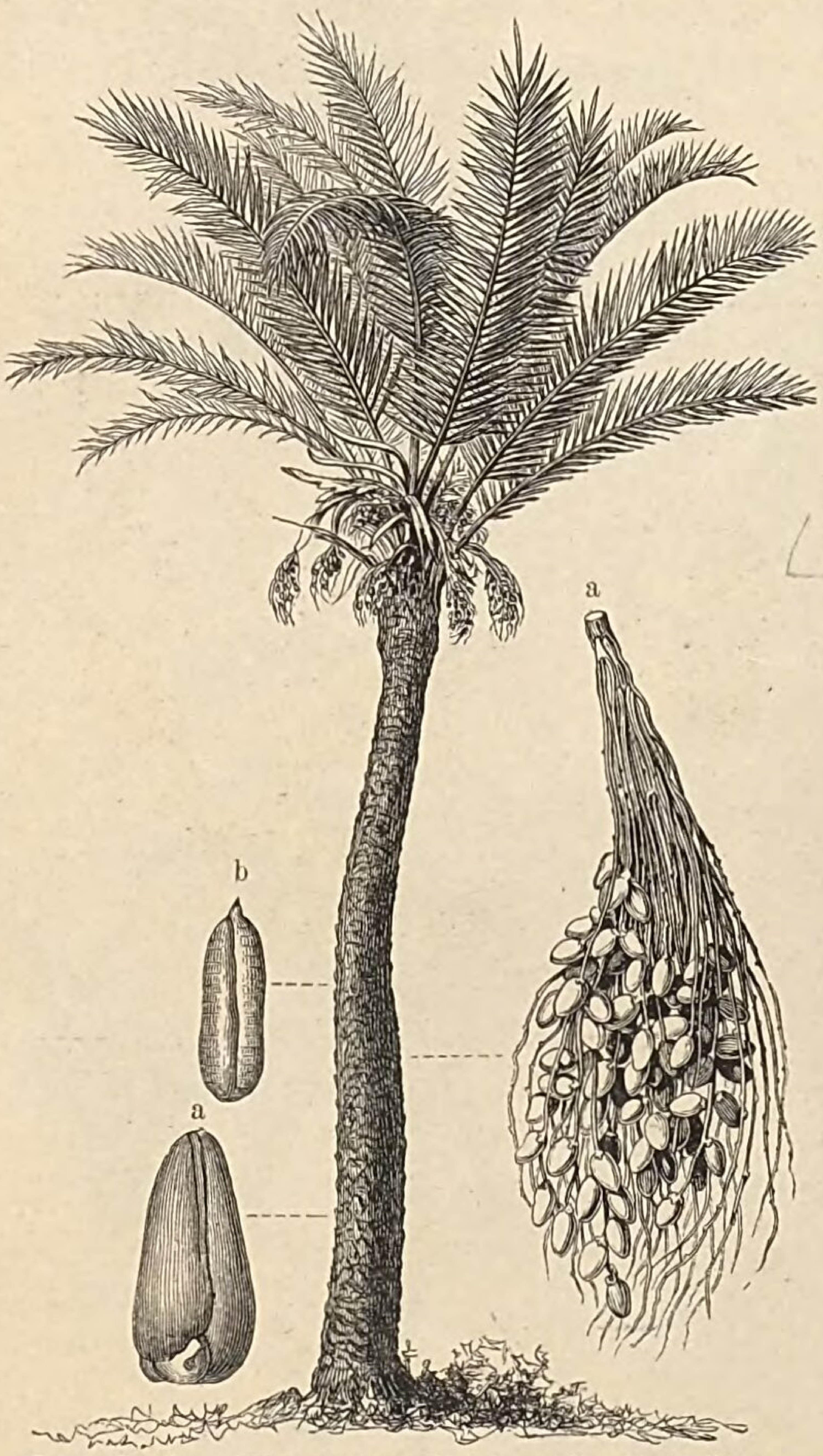
Asien und Amerika, aber auch in der Südsee, in Ost- und Westindien ein Hauptnahrungsmittel der Bewohner; auch die Wurzeln einiger Arum-Arten, wie Arum macrorrhizum in Ostindien und China, von Arum colocasia in Afrika. Die faustgroßen, rübenartigen Knollen der letzteren werden, um ihnen ihren scharfen Stoff zu benehmen, getrocknet und geröstet; neben Bananen, Kokosnüssen und Brotfrucht bilden sie den Hauptbestandteil der dortigen Volksnahrung. Die zur Ordnung der Aristolochien gehörige Tacca pinnatifida, die Tacca, wird auf Madagaskar, im asiatischen Archipel und den tropischen Südseeinseln ihres knolligen Wurzelstockes wegen häufig gebaut, da durch Kultur der bittere Geschmack sich mildert und das aus der Taccawurzel gewonnene Mehl zur Brotbereitung gut verwendbar ist. Die Bewohner auf Neuseeland und auf den Gesellschaftsinseln kultivieren den Wurzelstock des eßbaren Saumfarnes, Pteris esculenta, zur Nahrung. Ein riesenhaftes Knollengewächs, ursprünglich in Ostindien heimisch und dort allgemein sowie auf Neuseeland, in der Südsee und in der heißen Zone von Amerika, jetzt auch in Afrika angebaut, ist die Yamswurzel, Igname, Dioscorea Batatas (s. Abbildung, S. 328), D.

alata, D. sativa und D. bulbifera, zur Ordnung der Lilienpflanzen, Liliaceen, gehörig. Die Knollen verlieren durch Einweichen in Wasser, durch Kochen und Rösten ihren bitteren Geschmack und ihre schädliche, betäubende Wirkung. Sie werden wie Kartoffeln zubereitet gegessen; man gewinnt aus ihnen aber auch das Mandiokamehl, aus dem das Kassawabrot bereitet wird, neben Brotfrucht auf den Südseeinseln die Hauptvolksnahrung. Die namentlich in Amerika vielverwendete Batate oder Kamote, Batatas edulis, Convolvolus oder Ipomoea batatas (s. Abbildung, S. 329), zu den windenartigen Gewächsen gehörig und im heißen Amerika zu Hause, mit kartoffelähnlichen, wohlschmeckenden Knollen, hat sich über die Südsee nach Ostindien und China verbreitet und wird auch in Spanien im großen angebaut. Der Maniok- oder Kassawastrauch, Mahinot utilissima, Jatropha manihot (s. Abbildung, S. 330), aus der Familie der Wolfsmilchkräuter oder Euphorbiaceen, wird im tropischen Amerika, seiner Heimat, sowie im tropischen Asien und Afrika wegen der fleischigen, oft 15 kg schweren, fast nur aus Stärkemehl bestehenden Wurzel vielfach als ein (namentlich für Südamerika wichtiges) Nahrungsmittel kultiviert. Der heftig abführende und giftige Milchsaft wird durch Auswaschen, Pressen, Trocknen, Rösten aus der zerriebenen Wurzel entfernt. Die gröbere Sorte des so gereinigten Mehles wird zu gewöhnlichem Brot verwendet, die feinere Sorte kommt unter dem Namen Tapioka als Sagosurrogat in den Handel. Die Pfeilwurz, Arrowroot, Maranta arundinacea (s. Abbildung, S. 331), von der Familie der Kannaceen, Blumenrohre, liefert aus ihrem Wurzelstock, Topinambur, das seiner



1) Kokospalme (Cocos nucifera). 2) Ölpalme (Elaeis guineensis). a) Männliche, b) weibliche Blüten, c) Frucht. Vgl. Text, S. 339.

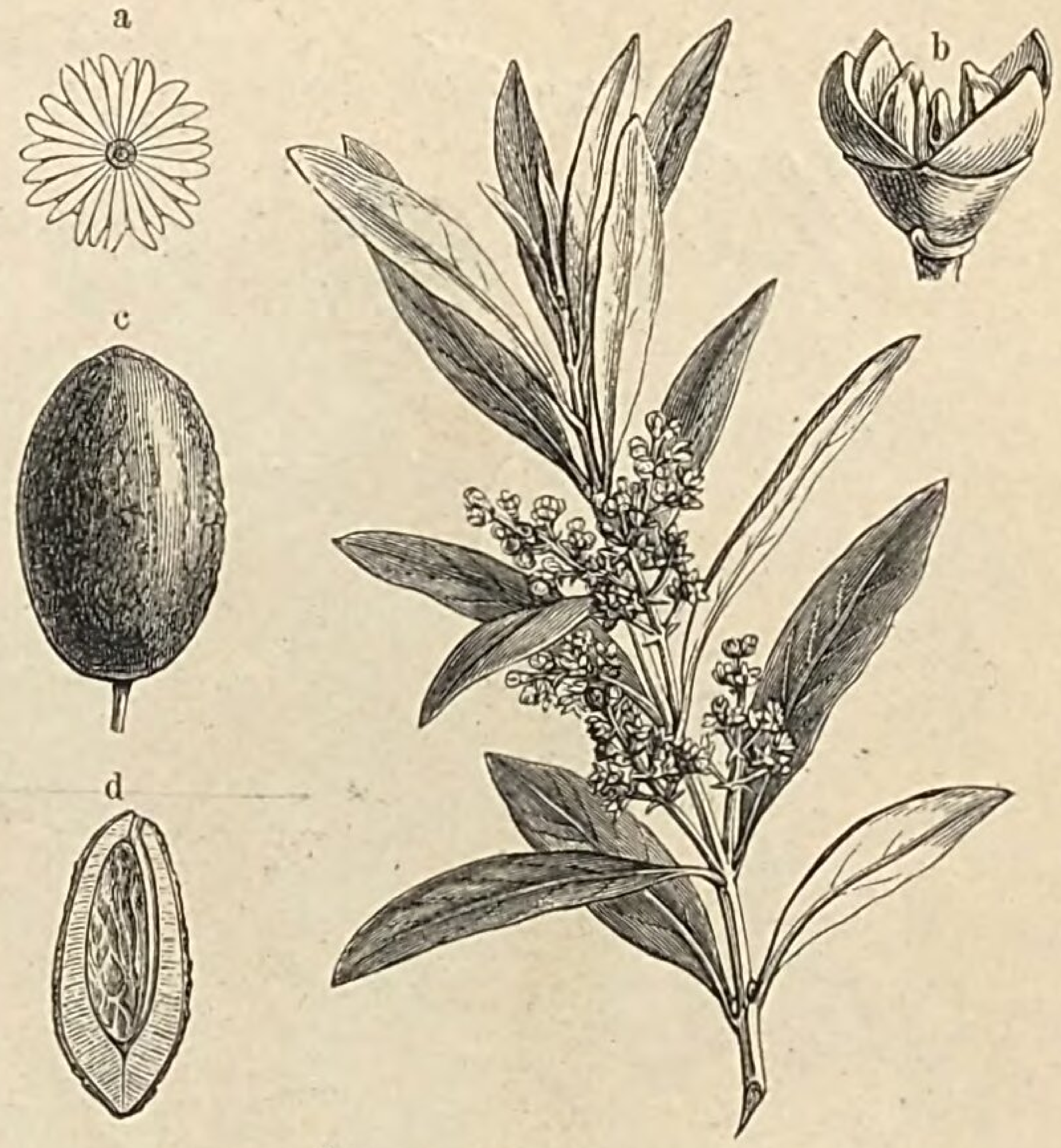
leichten Verdaulichkeit wegen berühmte Arrowrootmehl, welches mit heißem Wasser nicht Kleister, sondern einen gleichmäßigen Schleim bildet; es wird darum auch als westindischer Salep bezeichnet. Das eigentliche Heilnährmittel Salep stammt aus den Wurzelknollen des gemeinen Knabenkrautes, Orchis morio, und wird z. B. in Griechenland und Konstantinopel in Form eines warmen, schleimigen Getränkes zum Frühstück genossen. In Venezuela und Bolivia wird die Arracatscha, Aracacha esculenta, in den südamerikanischen Kordilleren die Oca, Oca tuberosa, in China und Japan, im tropischen Asien und im östlichen Afrika das Nelumbium, Nelumbium speciosum, ihrer Knollen wegen angebaut.



Dattelpalme (Phoenix dactylifera). a) Frucht, b) Same. Vgl. Text, S. 339.

Die Mehrzahl der eßbaren Baumfrüchte gehört unter die Gruppe der ihres geringeren Wertes für die Ernährung wegen von den eigentlichen Nährpflanzen abzutrennenden Obstpflanzen, doch kommen unter den Baumfrüchten auch sehr wichtige wahre Nahrungsfrüchte vor. Am berühmtesten ist der Brotfruchtbaum, Artocarpus incisa (s. Abbildung, S. 333), dem Feigenbaum, Ficus carica (s. Abbildung, S. 334), den wir auch den wahren Fruchtbäumen anreihen können, nahe verwandt. Der vielbewunderte Baum wurde zuerst durch Cook von den Südseeinseln bekannt. „Hat jemand“, sagte Cook, „in seinem Leben nur zehn Brotfruchtbäume gepflanzt, so hat er seine Pflicht gegen seine eigene und die nachfolgende Generation ebenso reichlich erfüllt wie ein Bewohner unseres Kontinentes, der sein Leben hindurch während der Kälte gepflügt, in der Sonnenhitze geerntet und nicht nur seine jetzige Haushaltung mit Brot versorgt, sondern auch seinen Kindern noch etwas an barem Gelde kümmerlich erspart hat.“ Der 40—50 Fuß hohe Brotfruchtbaum hat jetzt seine Heimat in der Südsee, wo er aber nur als Kulturpflanze bekannt ist. Auch in Ostindien und den Westindischen Inseln wird er gepflanzt, namentlich eine kernlose Varietät. Die kopfgroßen, melonenförmigen Früchte wiegen 1½—2 kg und bilden, wie Getreide und Kartoffeln, das Hauptnahrungsmittel der dortigen Bewohner. Auf einigen Inseln des Großen Ozeans, innerhalb der Tropen, dient neben der Brotfrucht auch die Frucht des Schraubenbaumes, Pandanus odoratissimus (s. Abbildung, S. 335), zu den aronartigen Gewächsen gehörig, als Volksnahrung. Die Banane, Paradiesfeige oder Pisang, Musa paradisiaca, M. sapientium (s. Abbildung, S. 336), und andere, in Ostindien wild, in der heißen Zone überall, außerhalb derselben bis zum 30. und 34.° kultiviert und Millionen Menschen Nahrung gebend, soll 133mal mehr Ertrag als unser Weizen liefern, da nach der vielcitierten Bemerkung A. v. Humboldts ein mit Bananen bepflanzter Morgen Landes 50, ein mit Weizen bebauter dagegen nur 3 Menschen ernähren kann. Die Früchte, dreimal im Jahre reifend, in

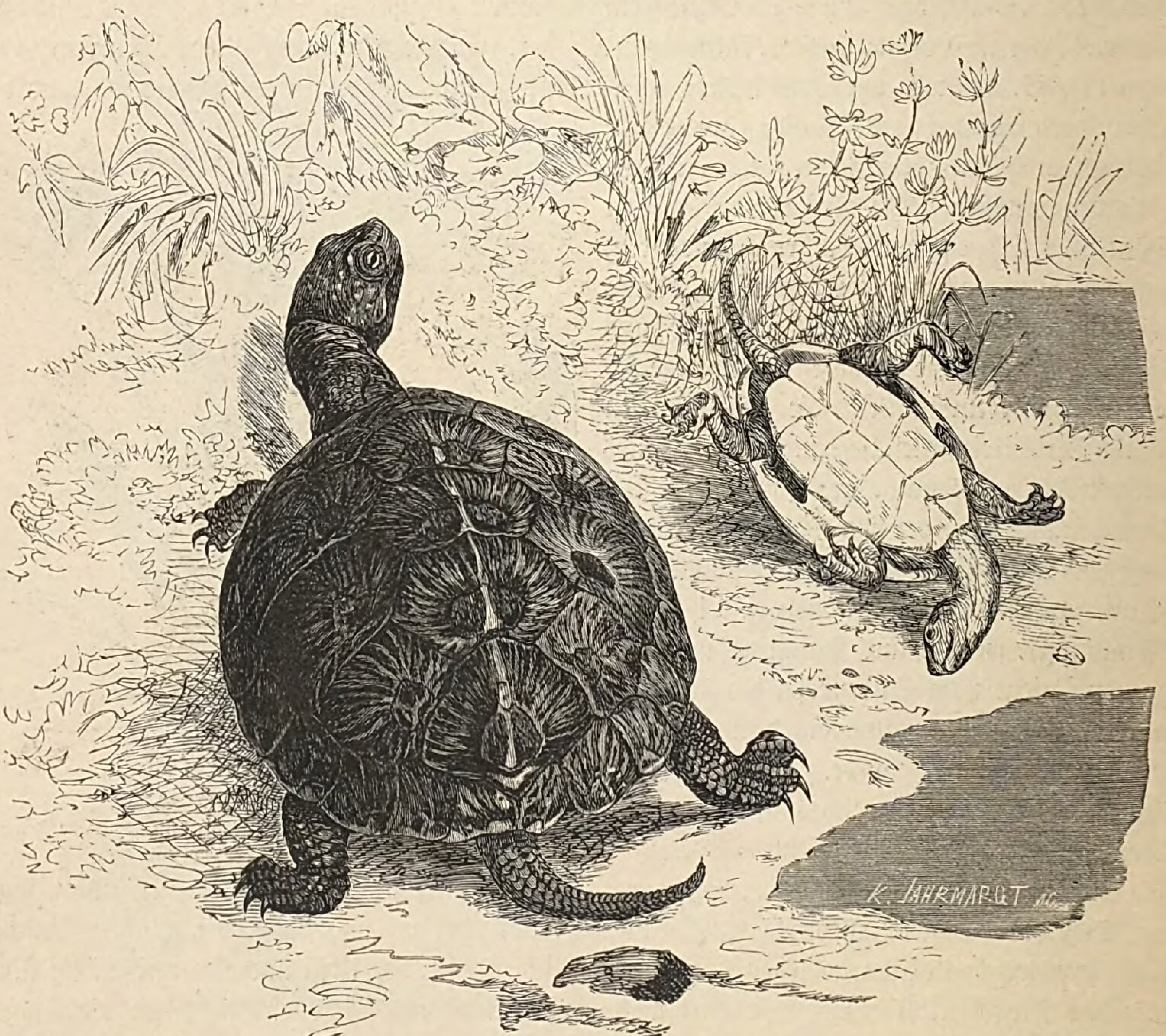
bis zu 30 und 40 kg schweren Trauben vereinigt, sind gurkenähnlich, sehr mehlreich, feigenartig schmeckend. Ein Bananenstamm kann jährlich weit über einen Zentner Früchte tragen. Als wichtig für die Volksernährung in Südeuropa dürfen wir nicht übergehen: die eßbare Kastanie oder Maronenkastanie, Castanea vesca, und die süße, eßbare Eichel in Spanien, auf deren noch fortdauernde Benutzung neuerdings R. Virchow hingewiesen hat. Oben haben wir schon einige Palmen als wahre Nährpflanzen erwähnt, hier reihen wir noch ihrer Früchte wegen die Kokospalme, Cocos nucifera (s. Abbildung, S. 337), die Dattelpalme, Phoenix dactylifera (s. Abbildung, S. 338), den Dum- oder Pfefferkuchenbaum, Hyphaena thebaica, in Mittelafrika, mit mehr als 200 orangegroßen, sättigenden Nüssen, und die Mauritiuspalme, Mauritia vinifera und M. flexuosa am Orinoko, wo sich der Volksstamm der Guaranen, welcher während der Überschwemmungen des Flusses auf diesen Palmen in Hängematten leben soll, von ihren Früchten ernährt. Die Aufzählung anderer Palmen, welche ebenfalls Nahrung gewähren, unterlassen wir als weniger bedeutsam, ebenso die Unzahl der eigentlichen Obstfrüchte und Gemüse wie auch die Pflanzen, welche die sogenannten „Genußmittel", die gebräuchlichen Volks-Nervenreizmittel, liefern. Nur noch eines wahren Nahrungsbaumes wollen wir schließlich Erwähnung thun, der zwar kein Stärkemehl, dagegen Speiseöl liefert, des Ölbaumes oder Olivenbaumes, Olea europaea (s. beistehende Abbildung), welcher aus Palästina und dem ganzen Orient nach Südeuropa bis zum 45.° nördlicher Breite, nun auch nach dem wärmeren Amerika verpflanzt wurde. Seine Früchte liefern das Olivenöl, welches in Südeuropa überall anderes Speisefett ersetzt.



Ölbaum (Olea europaea).
a) Blattschuppe, b) Blüte, c) Frucht, d) aufgeschnittene Frucht.

Als Fleisch und Fleischsurrogat werden fast alle Tiere gegessen. „Vornehmlich", sagte am Ende des vorigen Jahrhunderts A. von Haller, „bedient man sich des nützlichen Fleisches der Tiere, welche Kräuter genießen, weil deren Milch zart ist, der Urin und Kot nur mäßig stinkt und das Fleisch selbst weder sehr hart noch übelriechend ist. Die fleischfressenden vierfüßigen Tiere kommen seltener auf die Tafel. Sie enthalten mehr harnhaftes Salz, und im Fleische selbst steckt der Geruch ihrer Wildheit. Diejenigen, welche den Geruch eines Hundes, Fuchses oder einer Katze kennen, werden denen schwerlich Glauben beimessen, die das Fleisch vom Löwen und Tiger mit dem Kalbfleisch vergleichen. Die Europäer haben den Genuß dieser Tiere schon vorlängst abgeschafft, obgleich sie dieselben ehedem aßen. Bei den Vögeln aber hat man eine Ausnahme gemacht. Man bedient sich der fleischfressenden Vögel, als des Adlergeschlechtes, der Habichte, der Nachteulen und anderer fleischfressender Vögel, niemals als in der äußersten Not wegen ihres Gestankes und faulenden Fleisches. Die von Körnern, Kräutern und Insekten leben, werden unter die Leckerbissen gerechnet, wiewohl die, welche ein weißes Fleisch haben, als das ganze Geschlecht der Hühner und Pfauen, dem Menschen die beste und gesündeste Nahrung geben, welches sich bei denen anders verhält, die ein schwärzliches Fleisch haben, denn deren Fasern sind durchgängig fester gebaut und schwer zu verdauen." Dieses ist der Standpunkt der Frage noch heute, nur das ist gewiß, daß zwischen dem Fleische verschiedener Tiere im Ernährungswert nur relativ

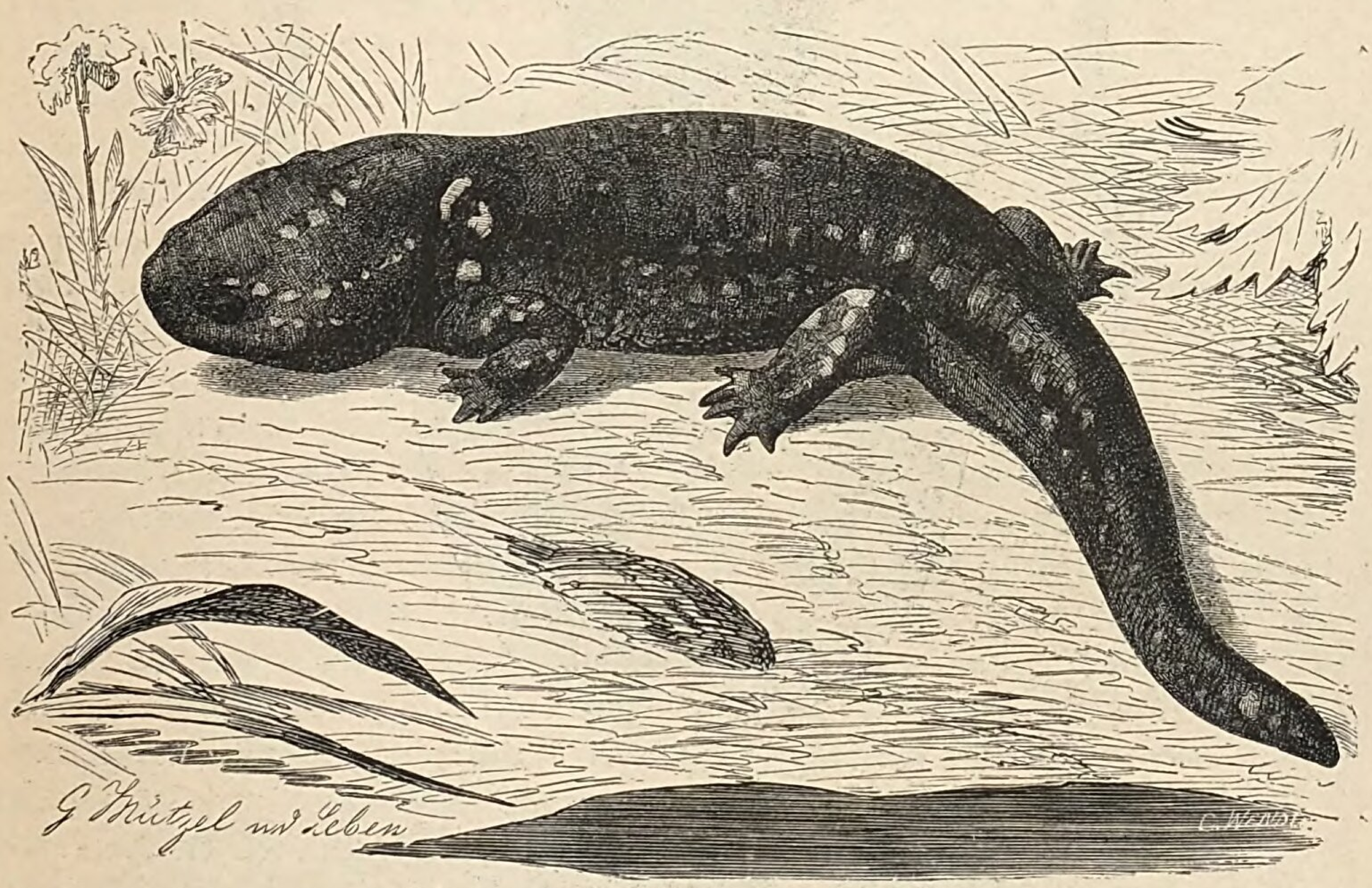
geringfügige Unterschiede existieren. Es sei gestattet, im folgenden die Abteilungen des Tierreiches bezüglich der vom Menschen daraus zur Ernährung benutzten Tiere eine kurze Revue passieren zu lassen. Die gesamte Tierwelt liefert Zuschuß zur Fleischnahrung der Menschen. Das Fleisch keines Säugetieres scheint wirklich ungenießbar, der Leber des Eisbären schreibt man mit Recht giftige Eigenschaften zu. Auch das Fleisch aller Vogelarten ist genießbar, das der meisten gut eßbar. Von den Fischen werden einige wenige Arten als ungesund bezeichnet, fast alle Arten werden gegessen. Von den Reptilien gelten die Land-, Sumpf- und Seeschildkröten als wert-



Sumpfschildkröte (Emys lutaria). 1/4 natürl. Größe.

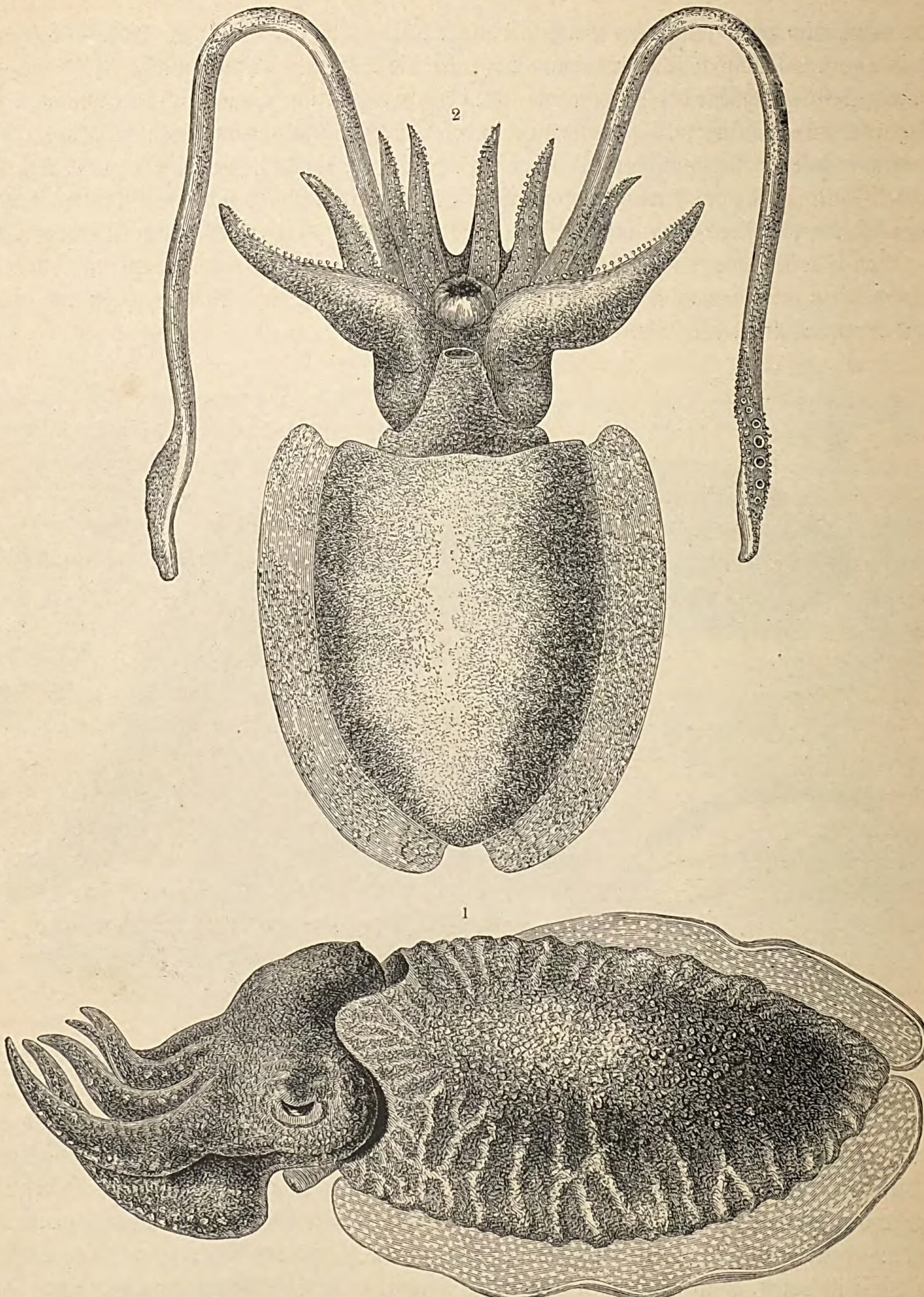
volle Nahrung, auch der Kaiman (Alligator lucius und A. sclerops), das Nilkrokodil, die gemeinen und anderen Eidechsen (Dragonne, Thorictis dracaena, Teguixin, Tejus monitor), die Leguane (Iguana delicatissima und I. tuberculata), selbst Schlangen, wie der schöne Schlinger (Python hieroglyphicus) und die Riesenschlange (Boa constrictor). Von Amphibien liefern Fleischnahrung: die Wabenkröte (Pipa dorsigera) und in Europa der grüne Frosch und der Grasfrosch (Rana esculenta und R. temporaria), in Südamerika und Mexiko der Axolotl (Siredon pisciforme und Amblystoma mexicanum, s. Abbildung, S. 341). Von eßbaren Insekten können wir als in höherem Grade wertvoll nur die Larve des Palmkäfers (Calandra palmarum) und die Zugheuschrecke (Acridium migratorium) aufzählen, obwohl andere kleinere Insekten gelegentlich auch gegessen werden; essen doch auch unsere Landkinder Maikäfer und wohl auch Spinnen. Von den Krebsen werden fast alle größeren Arten, auch manche kleine genossen.

Aber namentlich wichtig sind als Volksnahrung die Weichtiere, zuerst der Tintenfisch (Sepia officinalis, s. Abbildung, S. 342), dann vor allen die Schnecken: Nacktschnecke (Arion empiricorum), Weinbergschnecke (Helix pomatia), die Cypraea-Arten (Cypraea tigris, C. moneta 2c.), Austern (Ostrea edulis, O. hippopus und andere), Steckmuschel (Pinna nobilis), Miesmuschel (Mytilus edulis), Riesenmuschel (Tridacna gigas), Herzmuschel (Cardium edule), Tunkenmuschel (Tellina), Venus-Arten, Klaffmuscheln oder Mya-Arten und noch viele andere. Hieran reihen sich an: die Meerdatteln oder verschiedene Pholas-Arten, der Schiffswurm (Teredo navalis). Von Stachelhäutern werden die Seeigel (Echinus esculentus) und andere und etwa ein Dutzend Arten von Trepang (Holothuria edulis und andere) genossen. Auch Polypen sind eßbar, einige Actinia-Arten oder Meernesseln.



Axolotl (Amblystoma mexicanum). Natürliche Größe.

Außerdem liefert das Tierreich zur Menschennahrung noch Milch, Eier, Fett. Abgesehen von den gezähmten Rinderarten (Bos taurus, B. bubalus, B. frontalis) und den Ziegen- und Schafarten, liefern Milch zur Volksernährung: Pferde- und Eselstute, das Dromedar und das Renntier. Alle Eier von Vögeln sind eßbar, aber als hervorragend wichtig dürfen wir aufzählen: die Eier von Puter- und allen Hühnerarten, von Kiebitz-, Enten- und allen Gänsearten; in den Polargegenden die Eier von Bassangans, Alk und Fettgans, in südlichen Regionen von Strauß und Nandu. Unter den Eiern von Reptilien stellen wir an die Spitze die Schildkröteneier, von Sumpf- und Seeschildkröten, dann die großen Eier der Alligatoren. Aus Fischeiern, den Eiern von Stör und Hausen (Accipenser sturio und A. huso), wird der Kaviar bereitet; auch die Eier von fast allen größeren Krebsen und Seeigeln werden gegessen. Genießbares Fett liefern von Säugetieren: Rinder, Schafe und Schweine, dann von Fischsäugetieren der Pottwal (Physeter macrocephalus), Jubarte (Balaenoptera boops) und der Finnfisch (B. physalus), die Manatus- oder Lamantinarten. Auch das Fett von Vielfraß, Dachs und Hyäne gilt als genießbar. Von Fett liefernden Vögeln haben wir unsere Hausgans zu nennen, auch einige Entenarten; das Fett der Alken, Eistaucher, Papageitaucher wird besser als Thran bezeichnet. Nur wenig Reptilien besitzen



Tintenfisch (Sepia officinalis). 1) Männchen, 2) Weibchen. Vgl. Text, S. 341.

reichliches genießbares Fett, namentlich Schildkrötenarten und die Riesenschlange; häufiger ist Fettreichtum bei Fischen, wir nennen die Äschen, Salmo trymallus und andere Salmo-Arten, den Wels (Silurus glanis), den Aal, die Muräne (Muraena anguilla und M. Helena). Thran, d. h. flüssiges Fett, liefern außer den oben schon erwähnten Vögeln von Säugetieren: Walroß und die Robbenarten, auch einige Fischsäuger, von Fischen nur der Kabeljau (Gadus morrhua),

von dem der namentlich als Heilnahrungsmittel berühmte Leberthran bereitet wird. Endlich gibt es noch Tiere, welche uns Zuckernahrung, Honig, liefern: die verschiedenen Bienenarten, Apis mellifica, unsere zahme Biene, dann in Amerika A. amalthea und A. fasciata, in Madagaskar A. unicolor, deren Honig grün ist; auch A. pallida, A. indica bauen Honig.

Der Nährwert der Nahrungsmittel wird durch die Art und Menge der in ihnen enthaltenen einfachen Nährstoffe bestimmt (s. die Tafel „Nährwert der Nahrungsmittel"). Nur Regenwasser und künstlich destilliertes Wasser enthalten außer dem wichtigsten der unorganischen Nährstoffe, dem chemisch reinen Wasser, keine anderen Nährstoffe; Quell-, Fluß- und Grundwasser enthalten je nach der geognostischen Formation, in welcher das Wasser fließt, mehr oder weniger unorganische Nährsalze, welche dem Nährsalzbedürfnis des Menschen in Verbindung mit den Nährsalzen, welche die organischen Nahrungsmittel enthalten, der Hauptsache nach zu genügen vermögen. Das gilt aber, wie es scheint, nicht für das Kochsalzbedürfnis. Daraus erklärt sich der hohe Wert, den das Kochsalz bei den Völkern aller Zeiten besessen hat und noch besitzt. Das Kochsalz ist für die menschliche Gesundheit, freilich nicht in den großen Mengen, in denen wir es zu genießen pflegen, absolut erforderlich. Andauernder Kochsalzmangel führt „Kochsalzhunger" und ernste Gesundheitsstörungen herbei. Livingstone teilt interessante einschlägige Erfahrungen über Salzmangel, den er unter den Schwarzen und an sich selbst in Südafrika beobachtete, mit. „Wenn", erzählt er, „die Armen, die kein Salz hatten, nur von Wurzeln leben mußten, so wurden sie oft von ‚schlechter Verdauung' geplagt. Wir hatten häufig Gelegenheit, auch zu anderen Zeiten derartige Krankheitsfälle zu beobachten, denn die ganze Gegend hatte kein Salz, und daher konnten nur die Reichen sich welches kaufen. Die eingeborenen Ärzte kannten die Ursache der Krankheit sehr gut und verordneten daher unter ihren Heilmitteln immer auch Salz. Da aber die Doktoren selber kein Salz hatten, so wandten sich die Armen in derartigen Fällen an uns. Wir machten uns den Wink zu nutze und heilten fortan die Krankheit dadurch, daß wir nur einen Theelöffel voll Kochsalz ohne alle anderen Arzneien reichten. Auch Milch und Fleisch hatten dieselbe Wirkung, wiewohl nicht so rasch wie Salz. Lange nachher, als mir selbst in zwei verschiedenen Perioden vier Monate lang das Salz ausgegangen war, fühlte ich nicht sowohl ein Verlangen nach diesem Gewürz als vielmehr ein peinlich heftiges Gelüst nach den beiden vorgenannten Nahrungsmitteln. Dies dauerte so lange, als ich ausschließlich auf Pflanzenkost beschränkt war, und als ich mir endlich ein Gericht Fleisch verschaffte, das freilich nur in frischem Regenwasser gekocht war, schmeckte es dennoch so angenehm salzig, als wenn wir Salz zu seiner Zubereitung gehabt hätten. Da begriff ich die Dankbarkeit, welche die armen Bakuenafrauen, die in interessanten Umständen waren, gegen Mrs. Livingstone an den Tag legten, wenn sie ihnen etwas Fleisch oder Milch gab."

Auch von den organischen Nahrungsmitteln besteht fast jedes aus einer Mischung verschiedener Nährstoffe. Am reinsten sind wohl die reinen Fette und Öle, welche außer einigen unorganischen Aschenbestandteilen wesentliche Beimischungen nicht enthalten sollen; in etwas größerer Menge finden sich Aschenbestandteile, welche als Blutsalze wertvoll werden, in den reinen Zucker- und Stärkemehlarten; letztere enthalten zum Teile phosphorsaure Salze. Blutsalze und zwar zum Teile in großen Mengen finden sich in der Zusammensetzung aller organischen zusammengesetzten Nährmittel, und der Wert für Gesunderhaltung beruht z. B. bei den Gemüsen und Obstfrüchten wesentlich auf diesem Gehalt an Aschebestandteilen. Alle gemischten Nährmittel enthalten als organische Bestandteile, welche ihnen ihren Nährwert erteilen: Eiweißstoffe, Fette, Kohlehydrate (Stärkemehl, Zucker). Der verschiedene Wert der Nährmittel beruht also im wesentlichen nur auf der quantitativen Verschiedenheit, in welcher diese Nährstoffe in ihnen enthalten sind. Da nun das

Wasser als Nahrstoff so gut wie keinen Geldwert besitzt, so pflegen wir auch von dem Nährwert desselben abzusehen; je mehr Wasser daher ein Nährmittel besitzt und dem entsprechend je weniger feste Stoffe, desto geringeren Nährwert können wir ihm nur zusprechen. Die folgende kleine Tabelle gibt eine Übersicht über den Nährstoffgehalt einiger besonders wichtiger Nahrungsmittel, wobei kleinere Mengen, wie der geringe Zuckergehalt des Fleisches und andere, übergangen werden. In graphischer Darstellung macht auch die farbige Tafel „Nährwert der Nahrungsmittel" die chemische Zusammensetzung der Nahrungsmittel ersichtlich.

Nährstoffgehalt einiger wichtiger Nahrungsmittel.

Nahrungsmittel	In je 100 Teilen enthalten Prozente:				
	Wasser	Eiweiß	Fett	Stärkemehl	Zucker
Mageres Fleisch	75,0	18,0	5,9	—	—
Fettes Fleisch	44,0	10,0	45,7	—	—
Hühnerfleisch	77,3	17,5	1,4	—	—
Karpfenfleisch	79,8	13,6	1,1	—	—
Lachs	75,7	13,1	4,9	—	—
Blut	79,3	19,4	0,2	—	—
Rindsleber	56,0	16,3	3,2	—	—
Kuhmilch	87,5	3,2	4,0	—	4,8
Fettkäse	35,0	29,0	30,0	—	1,5
Hühnereier	72,2	14,8	12,0	—	—
Weizenmehl	14,0	11,5	1,5	72,5	
Roggenmehl	14,0	11,0	1,9	71,0	
Gerste, geschält	12,5	10,0	2,0	73,5	
Hafermehl	14,0	14,5	6,0	63,4	
Mais, geschält	13,5	11,0	7,0	67,6	
Reis	13,5	7,5	0,3	78,1	
Buchweizen, geschält	13,0	9,0	1,5	76,5	
Hirse, geschält	14,0	14,5	3,0	66,5	
Erbsen	14,0	23,0	2,0	52,5	
Bohnen	14,0	25,0	1,5	46,5	
Grüne Schneidebohnen	91,0	2,0	0,2	6,2	
Weißkohl	92,5	1,2	0,3	4,3	
Salat und Spinat	91,7	2,0	0,3	6,0	
Kartoffeln	75,0	1,7	0,3	21,0	
Möhren	86,0	1,1	0,2	9,6	
Äpfel	84,5	0,3	—	14,9	
Birnen	80,0	0,3	—	19,2	
Zwetschen (Pflaumen)	81,0	0,8	—	17,6	

Die Genußmittel und Gewürze.

Von den eigentlichen Nährmitteln trennen wir eine besondere Gruppe unter der speziellen Bezeichnung Genußmittel und Gewürze ab. Ihr eigentlicher Nährwert scheint auf den ersten Blick, da sie so gut wie keine zum Organaufbau verwendbaren und im Prozeß der „organischen Verbrennung" kraftliefernden Bestandteile enthalten, verschwindend gering, und doch strebt das gesamte Menschengeschlecht nach ihrem Genuß, und Wohlbefinden und Gesundheit scheinen vielfach von ihnen abzuhängen, ja in Wahrheit sind sie zum Teile geradezu für eine normale Ernährung unentbehrlich. Die verschiedenen Gewürze haben alle die Aufgabe, die durch die

Speisen erregte Eßlust und Anregung der Geschmacks- und Magennerven zu erhöhen. Auf diese Weise erreichen die gesamten Verdauungsorgane eine gesteigerte Thätigkeit, die dem Verdauungserfolg in hohem Maße zu gute kommt. Gewürze sind also keineswegs Luxus; da sie die Ausnutzung der genossenen Speisen erhöhen, haben sie auch einen sehr reellen (Geld-) Wert für die Ernährung. Mäßiger Hunger, durch den die Erregbarkeit der Geschmacks- und Magennerven erhöht wird, wirkt im Sinne der Gewürze, daher: Hunger ist der beste Koch.

Zum Teile gilt das Gleiche wie für die Gewürze für die eigentlichen Genußmittel. Ein Glas Wein oder Bier, zum einfachsten Mahle genossen, würzt dieses und steigert mit dem Genuß, den das Essen bereitet, auch dessen Verdaulichkeit und Ausnutzung im Organismus. Im



Tabaksstaude (Nicotiana tabacum). a) Blüte, b) Frucht. Vgl. Text, S. 346.



Kaffeestrauch (Coffea arabica). a) Blüte, b) Frucht. Vgl. Text, S. 346.

allgemeinen werden aber die Genußmittel zum Zwecke der Hervorbringung eines angenehmen Erregungszustandes des Gesamtnervensystems genossen. Ihr Genuß ist, da diese Erregung nach ihrem Aufhören eine Nervenerschlaffung bedingt, und weil sie zum Teil (Alkohol und andere) eine geradezu nachteilige Wirkung auf die Verdauungsfähigkeit, namentlich des Magens, ausüben, keineswegs ohne Gefahr. Der ungezügelte Alkoholgenuß wirkt geradezu wie eine Vergiftung; man hat bekanntlich das zum Teil rasche Aussterben der Naturvölker in der Berührung mit der europäischen Kultur vielfach auf die Wirkung des Branntweins zurückführen wollen, und zweifellos bildet derselbe hierbei ein hoch anzuschlagendes Moment.

Man unterscheidet alkoholische und nichtalkoholische Genußmittel. Zu ersteren gehören die Bier-, Wein- und Branntweinsorten, zu letzteren die warmen Volksgetränke, Thee, Kaffee, Schokolade und andere, auch die Fleischbrühe sowie eine Zahl als Rauch-, Kau- und Schnupfmittel eingeführter Substanzen, von denen die verbreitetste, der Tabak, in diesen drei Weisen genossen wird.

Alle Zucker oder Stärkemehl enthaltenden Pflanzenteile können zur Erzeugung alkoholischer Getränke verwendet werden. Wein wird aus der Traube (Vitis vinifera), Fruchtwein aus Äpfeln, Birnen und verschiedenen Baumsäften und Beerenfrüchten hergestellt. Zur Bierbereitung dienen in Europa Weizen und Gerste, anderswo auch andere Mehlfrüchte. Aus Roggen und Kartoffeln wird Branntwein gebrannt, der echte Arrak aus Reis, der echte Rum aus der Melasse der Zuckerbereitung aus Zuckerrohr 2c. Die alkoholfreien Genußmittel aus dem Pflanzenreich pflegt man nach von Bibra als narkotische Genußmittel zusammenzufassen, sie enthalten verschiedene Narkotika als eigentlich wirksamen Stoff. Der Tabak, von Nicotiana tabacum (s. Abbildung, S. 345), enthält das Nikotin. Das Kaffeïn ist enthalten im Kaffee, aus Coffea arabica (s. Abbild., S. 345), und Thee, aus Thea viridis, außerdem noch in dem in Südamerika an Stelle des chinesischen Thees getrunkenen Paraguaythee (s. beistehende Abbildungen), der aus den getrockneten oder fast gerösteten Blättern eines zu den Stechpalmen gehörigen kleinen Baumes, Ilex paraguayensis, wie der chinesische Thee bereitet wird. Der Baum wächst noch wild in den Wäldern am Paraguay und vorzugsweise in den Stromgebieten des Paraná und Uruguay wie sonst vielfach in Brasilien und La Plata. Auch in dem Samen der brasilischen Guarana (Paullinia sorbilis) ist Kaffeïn enthalten. Martius brachte zuerst die Nachricht von den aus diesen Samen bereiteten Guaranabroten oder der brasilischen Schokolade, aus welcher mit Zucker und Wasser ein anregendes Getränk bereitet wird, nach Europa. Der Kakao, aus welchem die Schokolade bereitet wird, besteht aus den Fruchtkernen vom Kakaobaum (Theobroma Cacao, s. Abbildung, S. 347), welcher in Mexiko, Guatemala, Nicaragua, Carácas, Indiana und auf den Antillen wächst, gegenwärtig auch in Afrika und Asien angebaut wird. Der Kakao enthält das dem Kaffeïn nahestehende Narkotikum Theobromin. Im Opium, dem eingedickten Safte der Mohnpflanze (Papaver somniferum), ist eine ganze Reihe verschiedener narkotisch wirkender Stoffe nachgewiesen, der wichtigste darunter ist das Morphin oder Morphium. Einen dem Safte des Mohnes ähnlichen Milchsaft besitzen auch die Salatarten, in größeren Mengen die Giftsalate oder Giftlattiche (Lactuca virosa und L. scariola), auch in, freilich geringer Menge unser gebräuchlicher Gartensalat, dessen „beruhigende" Eigenschaften schon dem Altertum bekannt waren; er wirkt nach Dioskorides kühlend, eröffnend und schlafmachend; der wirksame Stoff ist das kristallinische Laktucin. Unter den Volksgenußmitteln ist für die Orientalen, namentlich in der

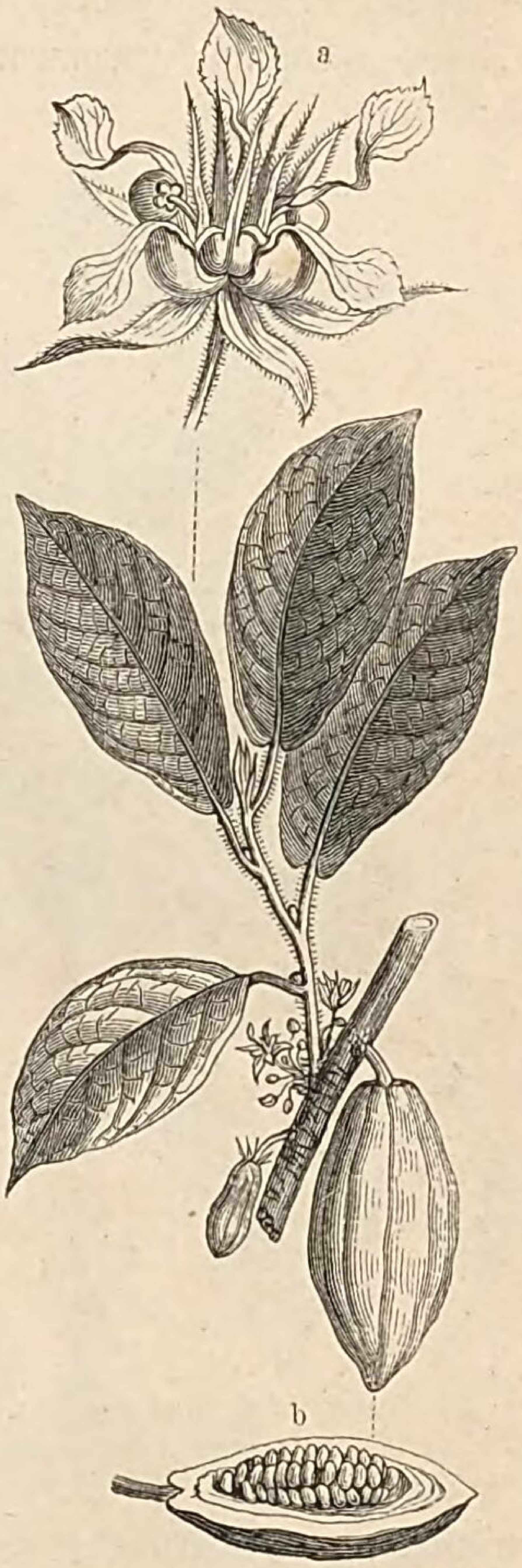


Paraguaythee (Ilex paraguayensis). a) Blüte, b) Frucht.



Chinesischer Thee (Thea viridis). a) Frucht.

Türkei, Arabien, Persien, Mittelindien, Nord- und Zentralafrika, noch ein besonders wichtiges und vielgebrauchtes, das Haschisch, zu nennen, welches aus der indischen Hanfpflanze (Cannabis indica), derselben Spezies wie unsere Hanfpflanze, nur reicher an dem spezifisch wirksamen Stoffe, dem Kannabin, gewonnen wird. Das Kannabin ist in der ganzen Pflanze, in all ihren Teilen, wenn auch in verschiedener Menge enthalten. Unter verschiedenen Namen existieren verschiedene Haschischpräparate: ein aus den Blättern ausschwitzendes Harz, die getrockneten Blüten, die ansetzenden Früchte, die kleineren Blätter. Diese werden entweder trocken geraucht, oder mit Butter zu einer Art fetter Latwerge, der auch noch verschiedene Gewürze und Honig zugesetzt werden, oder, wie auch das Harz, in Pillen umgewandelt, die gegessen oder auf die brennende Pfeife gelegt und geraucht werden. Im Übermaß genossen, soll es eine Art Raserei mit Mordlustanfällen erzeugen; in geringeren Gaben dagegen bringt es, wenigstens bei den Orientalen, Heiterkeit und angenehme Träume hervor. In Europa wird der Hanf in der Medizin gebraucht, in Zentralafrika als heilige Pflanze. Die Indianer Südamerikas bereiten nach Tschudis Bericht aus den Samenkapseln des roten Stechapfels (Datura sanguinea), welcher auf den Abhängen der südamerikanischen Anden wächst, ein berauschendes Getränk, Tonga, dessen wirksames Prinzip das Daturin ist, welches auch andere Stechapfelarten (Datura fastuosa, D. stramonium und D. metel) enthalten. Unser „Maitrank", aus Waldmeister bereitet, enthält Kumarin, denselben Stoff, welcher in den Tonkabohnen (Dipterix odorata) Guayanas und nach Goblay auch in dem Fahanthee enthalten ist, der in gewissen Gegenden Afrikas (Äthiopien) aus den trockenen Blättern einer schwarzen Pflanze (Angraecum fragrans), auf der Insel Bourbon wild wachsend, bereitet wird.



Kakaobaum (Theobroma Cacao). a) Blüte, b) Frucht.

Die Araber trinken einen Thee aus den Blättern der Kathpflanze (Celastrus edulis), eines kleinen, in Arabien wild wachsenden, aber auch kultivierten Baumes. Durch den Kaffee ist dieser Aufguß etwas in den Hintergrund gedrängt, dagegen wird jetzt noch, wie in alter Zeit z. B. von den Arabern in Jemen, ein gewisser Luxus getrieben mit dem Kauen der wohlriechenden frischen Kathblätter, deren feinste Sorten teuer bezahlt werden. Einige asiatische Nordvölker, Tungusen, Jukagiren, Jakuten, Ostjaken, Kamtschadalen, bereiten sich ein narkotisches Getränk aus Heidelbeersaft und Fliegenschwamm, den man aber auch seiner berauschenden Wirkungen wegen anderen Speisen zusetzen oder in Pillenform allein genießen soll. In den Hochländern von Peru, Titicaca, Bolivia und Arequipa steht als Erheiterungs- und Schutzmittel gegen Hunger und Durst bei Indianern wie Spaniern die neuerdings auch in Europa eingeführte Koka in hohen, beinahe noch, wie vor der Eroberung der Spanier, in abgöttischen Ehren. Die Kokapflanze (Erythroxylon Coca, s. Abbildung, S. 348) ist ein 7—8 Fuß hoher Strauch, dessen trockene Blätter, mit einer Pflanzenasche vermischt, gekaut werden. Durch ganz Ostindien und besonders an den Küsten, in China und über alle großen und kleinen Inseln Australiens sowie über einen Teil der Inselgruppe Polynesiens ist das Betelkauen verbreitet, nach Thomson in einem gewissen Zusammenhang mit der malayischen Rasse. Stücke der Betelnuß, der Nüsse der Areka-

palme (Areca Catechu, s. Abbildung, S. 349), werden mit feinem, aus Muschelschalen gebranntem Kalk in das Blatt eines Schlinggewächses, des Betelpfeffers (Piper siriboa und P. Betle), das Betelblatt, zu einem kleinen Bissen gewickelt, der dann von beiden Geschlechtern, arm und reich, alt und jung, gekaut wird. Aus der Arekanuß wird ein Extrakt medizinisch verwendet, das Bombay-Katechu, welches Katechugerbsäure und das kristallinische Katechin enthält. Der letztere Stoff findet sich auch in zwei anderen Katechusorten, von denen die eine, das bengalische Katechu, aus der Acacia Catechu, die andere, das Gambir-Katechu, aus dem Kletterstrauch Nauclea Gambir gewonnen wird. Diese beiden letzteren Katechusorten werden auch, wie die Betelnuß, mit Betelpfeffer und Kalk gekaut. Das Gambir wird namentlich auf der Insel Bintang erzeugt, das Katechu im nördlichen Bengalen und anderen Gegenden Indiens. An der Westküste wie im Inneren Afrikas werden häufig die Guru-Gola oder Kolanüsse gekaut, von dem Baume Sterculia acuminata (s. Abbildung, S. 349); sie sind ein bedeutender, vielgesuchter Handelsartikel, der bis auf die Märkte von Tunis und Algier gelangt. Als andere, weniger bekannte Substanzen, welche gekaut werden, führt von Bibra noch an: das Kauri, das Harz einer Dammara-Art, welches von den Neuseeländern gekaut wird, wie auch eine andere Harzsorte, Mimiha. Die Kongo-Neger sollen die Blätter einer Pflanze, Ncassa, kauen. Endlich erwähnen wir noch, daß in einigen nördlichen Landschaften Schwedens, z. B. in Herjedalen und Dalarne, eine Art Fichtenharz gekaut wird „zur Reinigung der Zähne und Erfrischung des Mundes“ als ein allgemeines und unentbehrliches Bedürfnis unter der Bezeichnung Tuggkåda oder Spänkåda. Das Kauharz scheint ein Krankheitsprodukt der Fichtenbäume zu sein, da es nicht an allen Stämmen, sondern meist nur in Vertiefungen und Wunden derselben vorkommt. Scheint dieses Harzkauen schon sehr harmlos zu sein, so gilt das auch von unseren warmen Volksthees, die vielfach „zur Erwärmung“ getrunken werden, und mit denen wir diese Übersicht beschließen. Thee bereitet unser Volk vorzüglich aus Mentha- (Minze-) und Melissa- (Melissen-) Arten, dann aus Matricaria Chamomilla, Kamille; Prunus spinosa, Schlehdorn; Origanum vulgare und O. majorana, Doste und Majoran; Sambucus nigra, Holunder. Schließlich erwähnen wir noch die Zichorie, die aus der kultivierten gerösteten Wurzel von Cichoria intybus bereitet und zu dem als „deutscher Kaffee oder Zichorienkaffee“ bekannten braunen Getränk benutzt wird; die enorm große Anzahl anderer Kaffeesurrogate übergehen wir.



Kokastrauch (Erythroxylon Coca). a) Blüte, b) Frucht. Vgl. Text, S. 347.

Die berühmten Untersuchungen „Die narkotischen Genußmittel und der Mensch“ von von Bibra beginnen mit den Worten: „Die Kaffeeblätter werden auf der Erde als Aufgußgetränk von 2 Millionen Menschen benutzt. Den Paraguay- oder Matethee trinken 10 Millionen. Ebenso viele Konsumenten hat die Koka. Die Zichorie trinken entweder pur oder mit Kaffee gemischt 40 Millionen. 50 Millionen genießen den Kakao, entweder als Schokolade oder in anderer Form. Kaffee wird von 100 Millionen getrunken, und ebenfalls 100 Millionen kauen Betel oder seine

Surrogate. 300 Millionen Menschen essen und rauchen Haschisch, 400 Millionen Opium. 500 Millionen trinken chinesischen Thee. Alle bekannten Völker der Welt endlich sind dem Gebrauch des Tabaks ergeben, meist rauchend oder denselben schnupfend oder kauend. Nirgends auf der ganzen Erde wird ein Land gefunden, dessen menschliche Bewohner sich nicht irgend eines narkotischen Genußmittels bedienen."

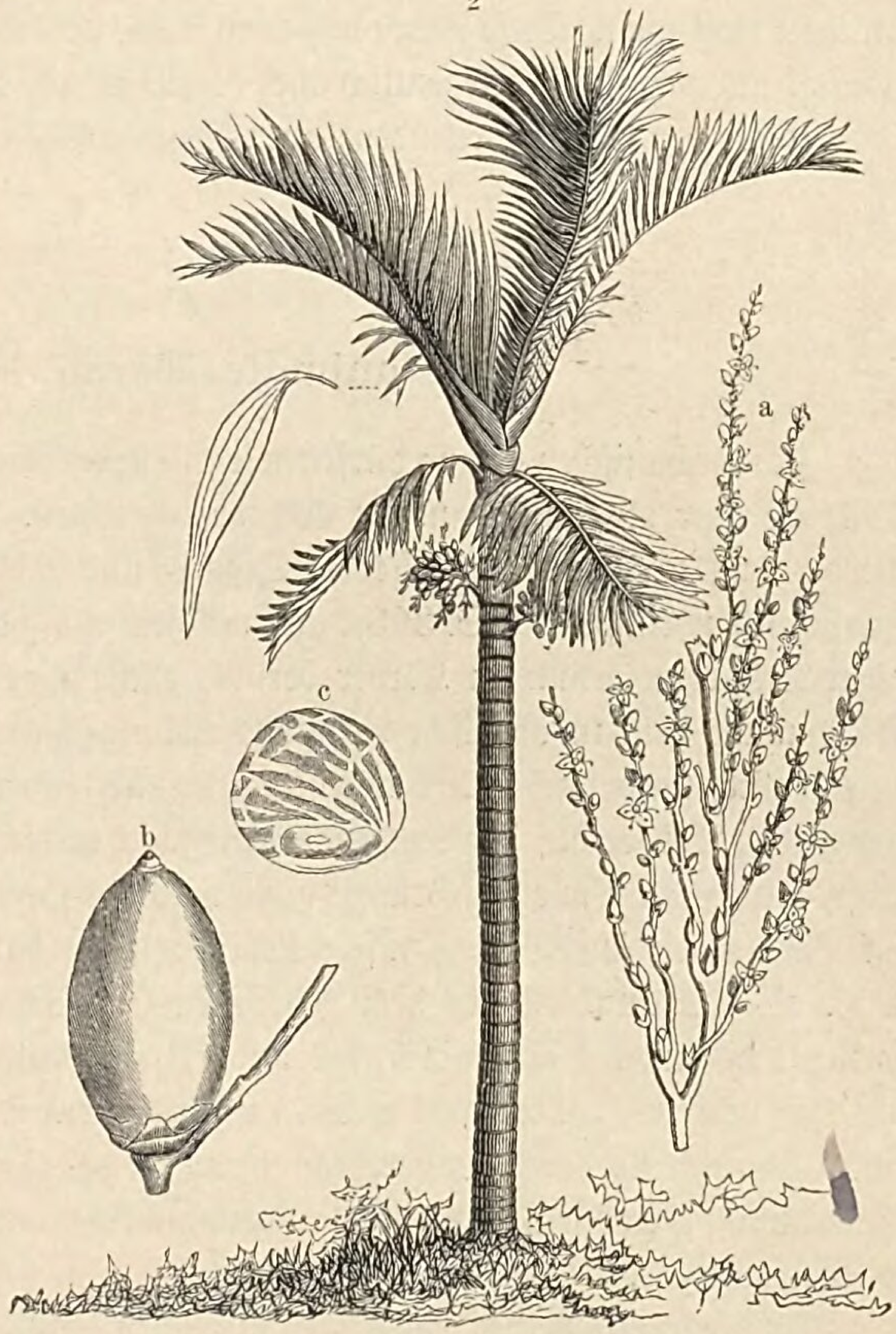
*

Die Nahrung der menschenähnlichen Affen. Man hat die Forderungen des Vegetarianismus auch mit der Behauptung zu stützen versucht, daß die dem Menschen nächststehenden Tiere, die menschenähnlichen Affen, nur von Pflanzenkost leben. Das ist gewiß, daß die Affen der Alten Welt schon durch ihren Zahnbau zu den Pflanzenfressern gestellt werden müssen; aber sie scheinen mehr oder weniger alle auch Neigung zu gelegentlicher tierischer Nahrung zu zeigen. So stellen die Paviane, obwohl ihre Haupt-

1



2



1) Kola-Nuß (Sterculia acuminata). a) Frucht. 2) Areka- oder Betelnußpalme (Areca Catechu). a) Blütenzweig, b) Nuß, c) aufgeschnittene Nuß.

nahrung aus Pflanzenstoffen besteht, doch auch kleinen Säugetieren, Vögeln und deren Eiern sowie Reptilien nach, namentlich aber lieben sie Insekten, Puppen von Ameisen und Schmetterlingen, Käferlarven; Fliegen und Spinnen verzehren sie ebenso wie die Schmarotzertiere in ihrem Pelze. In der Gefangenschaft zeigen auch die menschenähnlichen Affen, insbesondere die Gorillas, bald Neigung zur Fleischkost. Owen zählte die im Flußgebiet des Gabun, im Wohnbezirk des Gorilla, wachsenden Fruchtbäume auf, von denen sich dieser, obwohl ihre Früchte zum Teile für die Eingeborenen ungenießbar sind, nährt. Mit dem Menschen teilt sich der Gorilla in die Benutzung der Ölpalme, Elaeis guineensis, deren Früchte er mit Vorliebe genießt, während der Mensch aus den noch unentwickelten Blättern Palmkohl bereitet, dann des afrikanischen Pflaumenbaumes, Parinarium excelsum, des Melonenbaumes, Carica papaya, der Banane,

Musa paradisiaca und M. sapientium. Außerdem gehören zu seinen Nahrungspflanzen einige Amomum-Arten: Amomum granum paradisi, A. malaguetta und A. grandiflorum. Dann wird noch ein vermutlich dem Kolanußbaum ähnlicher Baum mit walnußartiger Frucht erwähnt, deren Schale der Gorilla mittels eines Steines aufschlagen soll, wahrscheinlicher aber mit seinem zu solchen Zwecken mächtig entwickelten Gebiß aufbeißt; außerdem ein Baum mit kirschenähnlichen Früchten. Im Herbste bestiehlt er wohl die Zuckerrohr- und Reisfelder der Schwarzen, und Savage behauptete sogar, er fresse auch die von ihm gejagten Tiere, ja getötete Menschen.

Auch die Schimpansen leben von mancherlei wilden Früchten, Amomum und anderen, oder stehlen auf Pflanzungen namentlich Pisang, Bananen und verschmähen unter Umständen auch animale Kost nicht. Diese Neigung zu animaler Kost scheint dem Orang-Utan zu fehlen, er nährt sich fast nur von Obst, gelegentlich auch von Blättern, Knospen und jungen Schößlingen, namentlich liebt er den wohlschmeckenden, aber übelriechenden Durion, Durio zibethinus.

Die animale Wärme des Menschen.

Im mechanischen Sinne dürfen wir alle lebendigen und Spann-Kräfte unseres Körpers als Wärme oder als umgewandelte Wärme betrachten. Bei der chemischen Umlagerung und der Verbindung der Elementarstoffe der Organ- und Nährbestandteile mit Sauerstoff, bei der „organischen Oxydation" (s. S. 308), auf welchem Vorgang fast ausschließlich die Erzeugung lebendiger Kräfte im animalen Körper beruht, entsteht vor allem direkt Wärme. Ein Bruchteil der Kraftsumme geht in chemische Affinitätswirkungen und in elektrische Spannung über oder wird zu eigentlich mechanischen Arbeitsleistungen innerhalb und zum Teil auch außerhalb des Körpers verwendet. Dieser auf den letztgenannten Zweck verwendete Anteil menschlicher möglicher Arbeitskraft, mit welchem wir ein Gewicht außerhalb des Organismus auf eine bestimmte Höhe gehoben, im allgemeinen äußere mechanische Arbeit geleistet haben, tritt aus dem Körper aus und wird z. B. als „Spannkraft" in dem gehobenen Gewicht aufgespeichert. Die anderen Bewegungsformen, die inneren mechanischen Arbeiten, wie Blutbewegung, Atmung 2c., mit eingeschlossen, werden so gut wie vollkommen in Wärme zurückverwandelt und teils auf dem Wege der Strahlung und Leitung, teils durch Wasserverdunstung an der Hautoberfläche und in den Lungen und durch Erwärmung der vom Organismus aufgenommenen und wieder ausgeschiedenen Stoffe der Außenwelt zurückgegeben.

Die Betrachtung des einfachsten animalen Lebens, wie die des menschlichen Organismus, zeigt uns alle normalen organischen Vorgänge von einer konstanten mittleren Temperatur abhängig. Der Muskel, der Nerv, die Drüsen werden in ihren Lebenseigenschaften beeinträchtigt, sobald ihre Temperatur nur um einige Grade unter die Norm sinkt. Wir sehen die Zuckungsfähigkeit des Muskels, die Fähigkeit zur Erregungsleitung im Nerven durch Kälte zuerst verlangsamt, dann ganz aufhören. Der animale Organismus bedarf daher einer von der Außenwelt wesentlich unabhängigen Temperatur. Wir finden auch wirklich alle höheren animalen Organismen mit einer von der Temperatur ihrer Umgebung in weiten Grenzen unabhängigen Eigentemperatur begabt. Der gesunde erwachsene menschliche Organismus hat, in der geschlossenen Achselhöhle gemessen, eine ziemlich konstante Temperatur von etwa 37—37,5° des hundertteiligen Celsius-Thermometers.

In der Konstanterhaltung der animalen Wärme besteht eine der physiologischen Hauptaufgaben des Blutes. Wir kennen ja das Blut als die Hauptursache der Wärmeproduktion

in den höheren animalen Organismen wie im Menschenkörper. Auf der Fähigkeit des Blutes oder vielmehr des roten Blutfarbstoffes, Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen und diesen den Organen zu ihren nötigen Stoffumsatzvorgängen zu übergeben, beruht die Möglichkeit der Wärmebildung wie der gesamten Kraftproduktion während des Lebens. Aber auch abgesehen von dieser organischen Oxydation, welche das Blut ermöglicht, regelt das Blut auch durch seine Zirkulation die Wärme des Organismus. Das Verhältnis ist ähnlich wie bei einer Warmwasserheizung, bei welcher auch in Röhren warme Flüssigkeit den zu erwärmenden Gegenständen und Räumen zugeführt wird; je reichlicher und rascher das Wasser von einer bestimmten Temperatur den letzteren zuströmt, desto stärker fällt ihre Erwärmung aus. Ebenso, je mehr und rascher warmes Blut den Organen zuströmt, desto reichlicher werden sie erwärmt, im umgekehrten Falle, wenn der Blutzufluß irgendwie gehemmt ist, sehen wir sie kälter werden.

Schon aus dieser Bemerkung geht hervor, daß die Eigentemperatur unseres Körpers keine ganz gleichbleibende und für alle Organe gleiche sein kann. Wenn auch im allgemeinen die Temperatur des gesunden menschlichen lebenden Körpers eine konstante genannt werden darf, so setzt sich doch auch dieses Gleichbleiben einer organischen Funktion aus regelmäßigen Auf- und Abwärtsschwankungen zusammen. Es liegt auf der Hand, daß sich in der Wärme unseres Körpers, die ja im letzten Grunde von der geringeren oder größeren Höhe der organischen Oxydationsvorgänge im Organismus bedingt wird, alle jene vielfältigen Schwankungen zu erkennen geben, die wir im Gesamtorganismus je nach seinen veränderten Allgemeinzuständen, vor allem je nach der Qualität und Quantität der Nahrungsaufnahme, sowie nach der größeren oder geringeren mechanischen Arbeitsleistung kennen, und die sich in allen Organen entsprechend den normalen Schwankungen in ihrer Lebensthätigkeit ergeben. Es zeigt sich ja bei allen Lebensvorgängen des gleichen Individuums ein unabläßiges Schwanken, ein Ansteigen und Absinken, zum Beweise, daß im lebenden Organismus zu verschiedenen, wenn auch nahe aneinander liegenden Zeiten, z. B. schon im Laufe eines Tages, die inneren Bedingungen seiner organischen Verbrennung und seines Stoffumsatzes vielfach wechseln. Die Sauerstoffaufnahme, die Kohlenstoff- und Stickstoffausscheidung, die Gallebildung, die Bildung der übrigen Verdauungsflüssigkeiten, die Muskelthätigkeit bei Schlaf und Wachen, ebenso die höhere Nerventhätigkeit und alles andere sehen wir niemals sich gleichbleiben, sondern in mehr oder weniger ausgesprochener Regelmäßigkeit während der Tageszeiten in ihrer Stärke auf- und abwärts schwanken. Teilweise sind diese Schwankungen von der zu annähernd bestimmten Zeiten erfolgenden Nahrungsaufnahme abhängig, die Beobachtungen an Personen, welche sich während der Beobachtungsperioden tagelang der Nahrungsaufnahme enthielten, beweisen aber, daß ein entsprechendes Wechseln auch von der Nahrungsaufnahme unabhängig eintritt aus Ursachen, welche, wie Schlaf und Wachen, im Organismus selbst gelegen sind. Diese Tagesschwankungen in der Stärke der Lebensvorgänge bilden eine Analogie zu den in größeren Zeiträumen verlaufenden Lebensperioden der Tiere: Winter- und Sommerschlaf, Menstruation, Brunst, Haar- und Federwechsel und andere. Alle diese Verschiedenheiten spiegeln sich auf das vollkommenste wider in der verschiedenen Stärke der organischen Verbrennungsvorgänge im lebenden Organismus, die animale Wärme wird daher auch ganz ähnliche Schwankungen wie jene Vorgänge erkennen lassen.

Die verschiedenen Lebensalter des Menschen sind uns Repräsentanten verschiedener allgemeiner Zustände des Körpers, zum Teil charakterisiert durch die verschiedene Intensität der Vorgänge des physiologischen Stoffumsatzes. Den letzteren sehen wir Verschiedenheiten auch in der Gesamtkörpertemperatur entsprechen. Nach den aus vielfachen Untersuchungen Bärensprungs abgeleiteten Mittelwerten ergibt sich folgende Tabelle (in Celsius-Graden) für die Körpertemperatur verschiedener Lebensalter:

Beim Neugeborenen	37,81	Im Alter von 31—40 Jahren	37,10
Im Alter von 5—9 Jahren	37,72	" " " 41—50 "	36,87
" " " 12—20 "	37,37	" " " 51—60 "	36,83
" " " 21—24 "	37,22	" " " 80 "	37,46
" " " 25—30 "	36,91		

Wir sehen wie in anderen physischen Beziehungen, so auch in der allgemeinen Körpertemperatur das Greisenalter wieder zur Kindheit zurückkehren. Ein auffallenderer Unterschied zwischen der animalen Wärme der beiden Geschlechter wurde bisher nicht festgestellt. Die Körpertemperaturen bei verschiedenen Ernährungsweisen sind ebenfalls noch nicht erwiesen; die vorhandenen Bestimmungen ergeben aber (in Celsius-Graden) eine deutliche Steigerung der Körpertemperatur im Gefolge der Nahrungsaufnahme überhaupt, dafür spricht z. B. folgende Tabelle Bärensprungs:

Von 5—7 Uhr (morgens im Bette)	36,68	Von 4—6 Uhr	37,48
" 7—9 " (Kaffee)	37,16	" 6—8 "	37,43
" 9—11 "	37,26	" 8—10 " (Abendessen)	37,02
" 11—1 "	36,87	" 10—12 "	36,85
" 1—2 "	36,83	" 12—2 " (a. d. Schlafe geweckt)	36,65
" 2—4 " (Mittagsessen)	37,15	" 2—5 " (morgens)	36,31

In der Verdauungsperiode nach dem Mittagsessen ist die Körpertemperatur am höchsten. Vom Erwachen am Morgen an steigt die Temperatur langsam, erreicht zwischen 4 und 6 Uhr nachmittags ihr Maximum und sinkt dann wieder langsam; während der Nacht ist die Temperatur am niedrigsten. Bei Nahrungsenthaltung fand Verfasser das Maximum der Körpertemperatur um 3 Uhr nachmittags. Entsprechend der Steigerung der Körpertemperatur infolge von Nahrungsaufnahme sehen wir ein Sinken der allgemeinen Körpertemperatur durch Nahrungsenthaltung eintreten. Nach den Beobachtungen von Lichtenfels und Fröhlich sinkt die mittlere Tagestemperatur des Erwachsenen bei voller Nahrungsenthaltung von 37,17 auf 36,60° C.

Die Steigerung der Körpertemperatur im Verlaufe des Tages ohne Nahrungsaufnahme hat ihre Ursache großenteils in gesteigerter Nerven- und Muskelthätigkeit. Nach den berühmten Untersuchungen von J. Davy erhöht gesteigerte Nerventhätigkeit durch geistige Beschäftigung die Köpertemperatur um etwa 0,3° C., dauernde Muskelanstrengung hebt sie um 0,7° C. Diese Erwärmung beruht nicht etwa bloß auf einer Veränderung der Blutverteilung, es geht das daraus hervor, daß nach Forels Untersuchungen beim Bergsteigen nicht nur in der Achselhöhle, sondern auch in den Eingeweiden (im Rektum) die Körpertemperatur um 0,2—0,5° C. ansteigt. Die Hauttemperatur, also auch die Temperatur in der Achselhöhle, ist in wesentlichster Weise davon abhängig, ob mehr oder weniger Blut in die Haut und die darunterliegenden Muskeln gelangt. Das ist der Grund, warum es uns so leicht gelingt, durch erhöhte Muskelthätigkeit die Temperatur eines friernden Gliedes zu erhöhen; der Unterschied in der Hauttemperatur kann hierbei bis 4° C. und wohl noch mehr betragen. „Kalte Hände und Füße" werden durch Muskelthätigkeit rasch warm, am raschesten, wenn der Magen und die Eingeweide nicht, wie während der Verdauung, größere Blutmengen für sich in Anspruch nehmen. In der Veränderung der Blutverteilung und der allgemeinen Anregung der Blutzirkulation liegt zum Teil der Grund, warum stärkere Körperbewegungen direkt nach dem Aufstehen, vor dem Frühstück, so vortreffliche Wirkungen auf das Allgemeinbefinden ausüben. Hier ist auch an die unwillkürlichen Muskelbewegungen beim Frieren, an das Zittern vor Kälte, als an eine unwillkürliche Steigerung der Wärmeproduktion zu denken.

Trotz der im allgemeinen bestehenden Konstanz der Körpertemperatur zeigen die verschiedenen äußeren und inneren Körperteile nicht ganz gleiche Temperatur. Es ist dies

einerseits die Folge von der Verschiedenheit der Blutzufuhr, anderseits von dem Unterschied in der normalen Größe des Stoffumsatzes in den verschiedenen Organen. Je lebhafter im allgemeinen der Stoffumsatz in einem Organ ist, desto höher finden wir auch seine Normaltemperatur. Das Bindegewebe der Haut fanden Becquerel und Brechet um 2,1° C. weniger warm als die Körpermuskulatur. Es rührt das aber nicht allein davon her, daß in dem Bindegewebe der Haut die chemischen Lebensvorgänge weniger lebhaft verlaufen als in den Muskeln; wir müssen bedenken, daß die beständig vor sich gehende Abkühlung an der Hautoberfläche die Temperatur der Haut mehr als die der anderen tiefer liegenden Organe herabsetzen muß. Die Unterleibsorgane, namentlich die Leber, haben eine höhere Temperatur als Lungen und Gehirn. Die Temperaturmessungen in der Achselgrube geben um 0,25—0,5° C. niedrigere Werte als die unter der Zunge bei geschlossener Mundhöhle. Vagina, Rektum, Blase sind um etwa 1° C. wärmer als die Achselgrube. Die Temperatur im Magen ist um etwa 0,5° niedriger als die im Rektum. Während der Verdauung steigt die Magentemperatur um etwa 1,3° C. an, entsprechend dem im ganzen dann blutreicheren Verdauungsschlauch.

Dem Blute, in welchem selbst nur eine sehr geringe Wärmeentwickelung stattfindet, fällt die hochwichtige Aufgabe zu, die verschiedenen Temperaturen der einzelnen Organe dadurch auszugleichen, daß es bei der Zirkulation in den Organen, welche eine höhere Eigentemperatur besitzen, sich selbst stärker erwärmt, Wärme aufnimmt und dieselbe an die normal weniger warmen Organe abgibt. Je reichlicher z. B. zur Haut der Blutzufluß stattfindet, desto höher erscheint infolge davon die Hauttemperatur. Infolge der Wärmeabgabe des Blutes an die von ihm durchströmten kälteren Organe wird auch die Temperatur des Blutes in verschiedenen Gefäßprovinzen eine etwas verschiedene. In den Hautvenen ist das Blut etwas kälter als in den Hautarterien, es hat schon einen Teil seiner Wärme an die Haut abgegeben. Dagegen sehen wir die Temperatur des Blutes steigen, während es Organe mit lebhaftem chemischen Stoffumsatz durchsetzt, namentlich die Leber, aber auch die Speicheldrüsen, die Nieren, die Muskeln (und zwar erscheint diese Steigerung der Blutwärme innerhalb der genannten Organe und Organgruppen am deutlichsten bei erhöhter Organthätigkeit derselben). Das Blut, welches in der oberen Hohlvene aus jenen Teilen des Körpers dem Herzen zuströmt, welche, wie die oberen Extremitäten, der Abkühlung vor allem ausgesetzt sind, ist etwas kühler als das Blut der unteren Hohlvene, welches aus dem Unterleib und zwar auch von den arbeitenden großen Drüsen desselben zurückkehrt. Stets sind aber, wie das die Raschheit der Blutbewegung nicht anders voraussetzen läßt, die Temperaturunterschiede in den verschiedenen Blutgefäßprovinzen nur sehr geringe. Im allgemeinen scheint jedoch das durchströmende Blut etwas weniger warm als jene Organe, welche sich am wesentlichsten an der organischen Oxydation, an der Wärmeproduktion des Organismus, beteiligen.

Messen wir die allgemeine Körpertemperatur im Winter oder im Sommer unter den verschiedensten Einflüssen des Klimas und der Witterung, so bleibt die Normaltemperatur fast vollkommen unverrückt auf der oben angegebenen Höhe. Der Mensch ist in seiner *Eigentemperatur in hohem Maße unabhängig von den Einflüssen der Umgebung*, er trägt im kältesten Klima fast absolut genau dieselbe Temperatur in seinen Organen wie unter den Tropen. Da müssen wir nun die wichtige Frage aufwerfen: wodurch ist der Organismus des Menschen befähigt, seine Eigentemperatur bei relativ so verschiedenen Außentemperaturen in den angegebenen Grenzen annähernd konstant zu erhalten? Ehe wir eine Antwort auf diese Frage versuchen, muß noch einmal direkt hervorgehoben werden, daß eine wahre absolute Konstanz der Eigenwärme des Menschen *nicht* existiert. In extremen Fällen ist der menschliche Organismus nicht im stande, den Einwirkungen der äußeren Agenzien, welche seine Temperatur zu verändern streben, ausreichenden Widerstand entgegenzusetzen. Auch geringere derartige Einwirkungen sehen wir nicht

spurlos an unserem Körper vorübergehen. So haben J. Davy und Brown-Séquard nachgewiesen, daß ein Aufenthalt in heißen Klimaten mit einer nachweisbaren Steigerung der Mitteltemperatur bis zu 1° C. bei Individuen verknüpft ist, welche in einem kälteren Klima aufgewachsen und zu wohnen gewöhnt sind. J. Davy hat an Eigenbeobachtungen konstatiert, daß die Körpertemperatur des Menschen um etwa 1° C. sinkt bei stundenlangem Aufenthalt in der Kälte, besonders wenn mit letzterem gezwungene Körperruhe, wie z. B. in der Kirche im Winter, verbunden ist. Alle die beobachteten Schwankungen halten sich aber (extreme Versuchsbedingungen ausgeschlossen) in verhältnismäßig engen Grenzen. Diese Fähigkeit zur Konstanterhaltung unserer Temperatur wird uns nur dadurch verständlich, daß wir Regulierungseinrichtungen derselben erkennen, welche fort und fort, den verschiedenen äußeren Einwirkungen entsprechend, im positiven oder negativen Sinne ihre Thätigkeit entfalten. Ein Teil dieser Regulierungen der Körpertemperatur wird von uns willkürlich, mit Absicht in Thätigkeit gesetzt, wie: Muskelbewegung, warme Kleidung, Heizung und andere gegen Kälte; kalte Bäder, kalte Speisen, leichte Kleidung, Beschattung, stärkerer Luftwechsel gegen gesteigerte Wärme. Aber im wesentlichen erfolgen die Regulierungen unserer Eigentemperatur ohne unseren Willen, physiologisch, reflektorisch.

Aus den neuesten und besten Versuchen hat sich ergeben, daß die Folgen gesteigerten Wärmeverlustes des Organismus, welche dessen Normaltemperatur herabzusetzen drohen, durch gesteigerte physiologische Thätigkeit der Wärme erzeugenden Organe, durch Steigerung der Wärme produzierenden chemischen Stoffumsatzvorgänge, willkürliche und unwillkürliche Bewegungen u. a., ausgeglichen, ja überkompensiert werden können. Indem der chemische Stoffwechsel des Menschen in der Kälte zunimmt, wird dadurch mehr Wärme in der gleichen Zeit erzeugt. Aber auch der Abfluß der Wärme aus dem Organismus wird durch jene Regulierungsvorrichtungen größer oder geringer gemacht, je nach Bedarf. Unser Körper verliert Wärme durch Leitung, Strahlung und Verdunstung; gegen diese drei Momente treten die übrigen, welche wir unten noch näher besprechen werden, vollkommen zurück. Die Wärmeabgabe findet fast ausschließlich an der Hautoberfläche und in den Lungen statt. Haut und Lungen sind die Organe, deren Thätigkeit für die Wärmeabgabe sich je nach dem Bedürfnis unseres Organismus modifiziert. Durch Leitung können beide Organe, entsprechend ihrer Oberfläche, Wärme an das umgebende Medium, Luft oder Wasser, abgeben. Das Wärmeleitungsvermögen der Luft ist sehr gering, das des Wassers viel besser. Die stets blutlose, an sich trockene Oberhaut, die Epidermis, welche die blutführende Lederhaut des Menschen an verschiedenen Körperstellen in verschieden dicker Schicht deckt, leitet die Wärme besonders schlecht. Je zarter die Oberhaut einer Hautstelle, je weniger behaart die letztere ist, um so stärker ist, abgesehen von der Wirkung der Kleidung, das Wärmeabgabevermögen der betreffenden Hautstelle durch Wärmeleitung. Ein anderer und zwar viel wesentlicherer Faktor für die Wärmeabgabe ist die größere oder geringere Füllung der Hautgefäße mit Blut. Auch die Gestalt der Organe ist für den Wärmeabfluß nicht gleichgültig. Wir wissen, daß die Wärmeabgabe aus schmalen, spitzen Körpern schneller und leichter stattfindet. Übereinstimmend mit dieser allgemeinen Erfahrung, fühlen wir Nasenspitze, Ohren, Finger, überhaupt die Extremitäten sich leichter und rascher abkühlen als den Körperstamm. Am mächtigsten aber wirkt für die Abkühlung in der Luft die Verdunstung. Bei schwitzender Haut steigt in trockener, bewegter Luft die Wasserverdunstung sehr beträchtlich an und damit der Wärmeverlust, da das verdunstende Wasser zur Überführung aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand sehr beträchtlicher Wärmemengen bedarf, die vor allem der Körperoberfläche selbst entzogen werden. Die Luft, welche man bei der Atmung aufgenommen, wird nicht nur in den Lungen erwärmt, sondern auch nahezu mit Wasserdampf gesättigt; für beides wird Körperwärme verwendet. Die Abkühlung in den Lungen bei der Atmung nimmt, da die Temperatur der ausgeatmeten Luft und ihr Wasserdampfgehalt mit der rascheren Folge der Atemzüge nicht

nennenswert sinken, mit der Zahl und Tiefe der Atemzüge zu; ebenso natürlicherweise mit der zunehmenden Geschwindigkeit des Blutstromes und der Blutfülle in den Lungen, ganz entsprechend den gleichen Verhältnissen an der Hautoberfläche.

Je nach den wechselnden äußeren Bedingungen sehen wir die aufgezählten Wärmeregulatoren in verschiedenem Grade in Wirksamkeit treten, mit verschiedener Stärke arbeiten. Eine Erhöhung der äußeren Temperatur ruft zunächst eine Erweiterung der Blutgefäße der äußeren Haut hervor. Infolge davon strömt das Blut reichlicher aus den inneren wärmeren Körperorganen in die an sich weniger Wärme produzierende Haut ein und steigert deren Temperatur. Die blutreiche wärmere Haut kann durch Leitung, Strahlung und Verdunstung eine größere Wärmemenge abgeben als die blutarme und daher kältere Haut. Die erhöhte Blutmenge steigert auch noch überdies die Flüssigkeitsmenge im Hautgewebe und liefert dadurch reichlicheres Material zu einer reichlicheren Verdunstung. Bei noch höheren äußeren Wärmegraden sehen wir endlich, namentlich bei einigermaßen feuchter Luft, Schweißbildung auftreten. Die rasche Verdunstung der flüssigen Hautausscheidung steigert die Wärmeabgabe in hohem Grade und zwar so weit, daß der Körper seine Temperatur auch sehr hohen Graden von Wärme gegenüber, solange er nur schwitzen kann, anzupassen vermag. Die Wasserverdunstung ist aber selbstverständlich nur möglich, solange die umgebende Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt ist; ist dieses der Fall, so versagt der wichtigste Faktor der Wärmeregulierung. Der Mensch kann mehrere Minuten bei einer trockenen Wärme von + 79° C. aushalten, A. Berger und de la Roche blieben in trockener Luft sogar 8—16 Minuten in einer Temperatur von + 100°—127° C., ohne daß ihre Eigentemperatur um mehr als etwa 1° C. anstieg. Eine Luft von dieser Temperatur, mit Wasserdampf gesättigt, würde dagegen die Haut sofort verbrühen.

Die Wärmeabgabe durch Leitung nimmt bekanntlich in geradem Verhältnis mit dem Temperaturunterschied der sich berührenden verschieden warmen Körper zu und ab. Um gegen Einwirkung von Kälte die Körpertemperatur konstant zu erhalten, sehen wir, abgesehen von der ererwähnten Steigerung der Wärme produzierenden chemisch-physiologischen Lebensprozesse bei niedrigerer Temperatur, zuerst und vor allem die Oberflächentemperatur der Haut herabgesetzt. Diese physiologische Verminderung der Hauttemperatur erfolgt dadurch, daß sich durch den Reiz der Kälte die Blutgefäße der Haut zusammenziehen, verengern; die nächste Folge davon ist, daß nun in der gleichen Zeit weniger Blut in sie ein- und durch sie strömt als vorhin; die Haut wird daher weniger erwärmt, gerade so, als hätten wir bei einem mit Wasserheizung erwärmten Raume die Heizröhren zum Teil abgesperrt. Die Haut, welcher nun weniger Wärme zugeführt wird, wird kühler, die Differenz zwischen Hautwärme und Wärme des umgebenden Mediums, Luft oder Wasser, wird geringer, und damit wird entsprechend die Wärmeabgabe an der Haut verlangsamt. Das warme Blut wird infolge davon in die inneren Organe zurückgedrängt, diese werden blutreicher und ihre chemischen, Wärme produzierenden Stoffvorgänge dadurch gesteigert. Man kann regelmäßig beobachten, daß durch ein kaltes Sturzbad, durch Auskleiden in kalter Luft und ähnliche äußere kalt machende Einflüsse die Temperatur in den inneren Organen, die Bluttemperatur, ansteigt. Bei höherer Temperatur gehen die chemischen Zersetzungen und Stoffumwandlungen im Protoplasma des animalen Körpers aber in gesteigertem Maße vor sich (das ist einer der Gründe, warum bei äußerer Abkühlung die Wärme produzierenden Vorgänge im Inneren des Organismus ansteigen). Die Verengerung der Hautgefäße und die dadurch veranlaßte Aufspeicherung von Wärme im Inneren des Körpers bedingt also nicht nur eine Verringerung des Wärmeverlustes, sondern auch ein Ansteigen der Wärmeproduktion durch eine Steigerung des Stoffumsatzes in den vor allen Wärme erzeugenden Organen, die auch durch die vermehrte Blutzufuhr entsprechend mehr Material für ihre organischen Verbrennungsprozesse erhalten. Kalte

Luft wirkt eingeatmet ziemlich in demselben Sinne, den wir eben für die Hautgefäße dargelegt haben, auf einen Teil der Lungengefäße mit dem entsprechenden allgemeinen physiologischen Erfolge, welcher oft genug zur Krankheitsursache wird.

Der Kältereiz macht sich auf die Blutgefäße der Haut um so stärker geltend, je zarter die Hautoberfläche ist, und je mehr die Blutgefäße der Haut durch eine Gewöhnung an wenigstens annähernd konstante Temperaturen verwöhnt sind. Die Zusammenziehung der Hautblutgefäße und die dadurch entstehende Abkühlung der Haut bringen in uns das Gefühl des Frierens hervor. Weichliche Personen frieren rascher als abgehärtete, und zwar deswegen, weil ihre Blutgefäße wirklich auf den Kältereiz stärker reagieren und ihre Haut sich daher rascher abkühlt. Wir kennen die relative Unempfindlichkeit gegen Kälte bei Personen, welche gewöhnt sind, sich bei allen Temperaturen den Einflüssen des Klimas auszusetzen, wie Jäger, Landleute ꝛc. Im höchsten Maße konnten wir diese physische Abhärtung der Haut und ihren Erfolg den Kältereizen gegenüber bei der durch Hagenbeck nach Europa gebrachten Feuerländerhorde und zwar bei beiden Geschlechtern sowie bei Jugend und Alter beobachten. Diese Leute saßen im zoologischen Garten in Berlin im November fast unbekleidet bei einer dem Gefrierpunkte nahen Temperatur im Freien, aber die Haut ihrer nackten Körperteile, der Füße und Hände, war warm und sogar „duftig“ anzufühlen. Zweifellos ist diese wunderbare Erscheinung, welche es diesen armseligen Geschöpfen ermöglicht, in dem rauhen Klima des Feuerlandes fast ganz ohne Kleidung auszudauern, zum Teil darauf begründet, daß die normale Reaktion der Haut des unbekleidet lebenden Menschen gegen Kälte eine weit geringere ist als bei dem stets bekleidet gehenden Europäer. Diese relativ hohe Wärme der Haut fanden auch alle Reisenden in arktischen Gegenden bei den Eingeborenen. Der Grund dafür liegt also nicht allein in der größeren Gesamtquantität von Wärme, über welche die Urbewohner arktischer und antarktischer Gegenden vermöge ihrer Fett- und Fleischkost gebieten, sondern wesentlich in einer geringeren Lebhaftigkeit der Reizbarkeit der Hautgefäße gegen den Kälteeinfluß.

Umgekehrt sehen wir in heißen Klimaten unbekleidet oder wenig bekleidet gehende Völker und Rassen bei einer Temperatur und Trockenheit der Luft, unter deren Einfluß die Haut des Europäers spröde und trocken wird, eine feuchte, „duftige“ Haut behalten. Auch bei ihnen wirkt der die Haut treffende Reiz, hier der Wärmereiz, geringer als bei Europäern. Bei den letzteren sehen wir die Blutgefäße der Haut sich bei Wärme rasch erweitern und rasch Flüssigkeit abgeben, die Haut sich übermäßig erhitzen. Schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit ist dadurch die Verdunstung an der unbedeckten Haut so bedeutend gesteigert, daß die Blutgefäße für diese enormen Verluste nicht mehr genügend Flüssigkeit abgeben können und die Haut dadurch oberflächlich spröde und trocken wird. Jeder kann diesen übermächtigen Einfluß der Wärme für die Verdunstung an der Haut an sich bei starken Fußmärschen in großer Sommerhitze auch in unserem Klima bemerken. Zuerst wird infolge der Hitze und Körperbewegung unsere Haut warm und „duftig“, dann tritt Schweiß in immer gesteigerter Menge auf, die Haut wird immer heißer, endlich läßt zunächst am Gesicht die Schweißbildung nach und hört dann gänzlich auf, die Haut wird heiß und trocken. Das ist die Folge einer schon anormalen, weil übermäßigen Thätigkeit unserer Wärmeregulierungseinrichtungen in Reaktion gegen äußere hohe Temperaturen. Alle diese Erscheinungen sehen wir bei Leuten, welche an die Ertragung hoher Temperaturen durch ihren Lebenslauf gewöhnt sind, wie Jäger, Hirten, Landleute, Bergführer, in viel geringerem Grade eintreten, und am freiesten davon sind die in der Ertragung von Wärme noch weit mehr geübten dunkeln Nationen heißer Klimate.

Ganz entsprechend sind die Verhältnisse für gesteigerten Lichtreiz, welcher nach Johann Widmark und Friedrich Hammer Hautreizungen und Entzündungen, die als Sonnenbrand oder

Gletscherbrand von den Reisenden gefürchtet sind, hervorrufen kann. Entwöhnung der Haut von Belichtung macht auch für den Einfluß des Lichtreizes empfindlicher, bei welchem namentlich die chemisch wirkenden ultravioletten Strahlen (auch des elektrischen Lichtes) wirksam sind. Diese Hautreizung durch Licht ist die Ursache der Bräunung und Pigmententwickelung in der belichteten Haut bei dem sogenannten „Verbrennen" der Haut an der Sonne.

Wird die Wirkung der Kälte auf den menschlichen Organismus so bedeutend, daß eine stärkere allgemeine Herabsetzung der Körpertemperatur daraus erfolgt, so tritt, auch zunächst noch im Sinne einer Regulierung der Wärmeabgabe, Verlangsamung der Atmung und des Herzschlages ein. Dann ist aber die Gefahr des Erfrierens schon sehr nahe gerückt. Wir sehen, wie jedermann unwillkürlich in der Kälte seine Oberfläche, die der Abkühlung unterliegt, zu verkleinern strebt; wir ballen die Hände, ziehen sie über der Brust zusammen, wir kauern uns zusammen, um dadurch den Wärmeabfluß möglichst zu verringern. Je kleiner relativ die Oberfläche zum Gesamtkörper ist, desto geringer muß unter gegebenen Umständen der Wärmeabfluß ausfallen; daher sehen wir größere Organismen, welche im Verhältnis weniger Oberfläche besitzen als kleinere, weniger leicht als letztere erkalten. Bei Säuglingen und Kindern kommen noch andere den Wärmeabfluß begünstigende Verhältnisse hinzu, von denen hier nur an ihre höhere Atemfrequenz und ihren rascheren Herzschlag erinnert werden soll. Das Frösteln und Zittern vor Kälte wirkt nach dem oben Gesagten steigernd auf die Wärmeproduktion.

Aber vor allem muß hier noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Erkaltung bei jedem Individuum um so rascheren Erfolg haben muß, je geringer die Gesamtsumme von Wärme ist, welche der Körper in sich trägt. Die Wärmesumme des Organismus für eine bestimmte Zeit ist bedingt durch die vorausgegangene Ernährung, sie wechselt also mit den wechselnden Körperzuständen, welche wie sie von der Ernährung bedingt sind. Je nach der Nahrung ist die im Körper verwendbare Wärmemenge sehr wechselnd; Verfasser fand sie in Untersuchungen, an sich selbst angestellt, bei Nahrung mit möglichst eiweißfreier Kost um ca. 700, bei Nahrung mit gemischter Kost noch um ca. 500 Wärmeeinheiten pro Tag geringer als bei möglichst reiner Fleischkost. Da die verschiedenen Lebensalter, Geschlechter, Armut und Reichtum und andere Umstände in Beziehung auf die Ernährung verschiedene Körperzustände repräsentieren, so ist es wohl verständlich, warum Arme, Kinder, Greise, Frauen, Rekonvaleszenten mehr frieren und mehr und rascher von der Kälte leiden als robust genährte Männer. Jeder Wärmeverlust repräsentiert bei jenen einen viel größeren Bruchteil der Gesamtwärmequantität als bei letzteren.

Als Beispiele für derartige Schwankungen in der für die Zeit eines Tages von 24 Stunden dem erwachsenen Manne je nach der Ernährungsweise zu Gebote stehenden Summe von Wärme können die Wärmemengen dienen, welche Verfasser aus seinen an sich selbst angestellten Ernährungsversuchen berechnete. Stellen wir die erhaltenen Werte der Wärmeabgabe in 24 Stunden bei verschiedenen Nahrungsbedingungen und Körperruhe für einen jugendlichen Mann von 70 kg mittlerem Körpergewicht zusammen, so erhalten wir in runder Summe für je einen

zweiten Hungertag (am Schluß desselben 48stündige Nahrungsenthaltung)	2103	Wärmeeinheiten
zweiten Tag mit eiweißfreier Kost	2060	=
zweiten Tag mit gemischter Kost	2200	=
zweiten Tag mit fast ausschließlicher Fleischkost	2780	=

1 kg unseres Körpers (= 1 kg erwachsener Mensch) produziert danach an Wärme in einer Stunde im Minimum (Hunger) 1,198 Wärmeeinheit, im Maximum (Fleischkost) 1,654, im Mittel 1,369 Wärmeeinheit.

In verschiedenen Klimaten gestaltet sich, je nach der verschiedenen Ernährung der Arbeiter, die zur Verfügung stehende Wärme- (Kraft-) Menge sehr verschieden. Für Arbeiter,

welche mäßige mechanische Leistungen ausführen, hat Verfasser folgende Zahlen nach den Angaben der Autoren berechnet. Ein erwachsener, ausreichend genährter Mann gebietet bei mäßiger äußerer mechanischer Arbeitsleistung im Zeitraum von 24 Stunden über die folgende Gesamtkraftsumme:

in den Tropen über	1800	Wärmeeinheiten
im gemäßigten Klima über	2500	=
im arktischen Klima über	4500	=

Die Werte verhalten sich zu einander wie 2 : 3 : 5. Mit der sinkenden äußeren Temperatur scheinen danach die notwendigen Nahrungsmengen oder vielmehr die Wärmemenge, welche dem Organismus durch die Nahrungsmittel zukommen muß, in sehr beträchtlichem Grade zu wachsen.

Helmholtz nimmt als tägliche Gesamtwärmemenge eines Erwachsenen in unserem Klima (etwas zu hoch) 2700 Wärmeeinheiten an. Über den Verbrauch derselben macht er folgende Angaben. Der Mensch verbraucht in einem Tage

zur Erwärmung der kälter als der Organismus eingeführten Nahrungsmittel weniger als	2,6	Proz. =	70	Wärmeeinheiten
zur Erwärmung der Atemluft weniger als	5,2	= =	140	=
zur Wasserverdunstung in den Lungen weniger als	14,7	= =	395	=
ebensoviel zur Wasserverdunstung an der Haut	14,7	= =	395	=
zusammen:	37,2	Proz. =	1000	Wärmeeinheiten.

Der Rest der Wärme würde durch Leitung und Strahlung an der Haut und durch äußere mechanische Leistungen verbraucht werden. Alle diese Verhältnisse ändern sich in verschiedenen Klimaten. Der Wärmeverlust durch Erwärmung der Atemluft ist in den Tropen selbstverständlich kleiner als in gemäßigten oder gar in arktischen Gegenden, die Wärmemengen, welche auf diesem Wege abgehen, verhalten sich, wie Verfasser findet, sehr annähernd wie 1 : 2 : 3. Leider fehlen noch so gut wie alle Angaben, um die Wärmeabgabe durch Strahlung und Leitung an der Haut näher zu bestimmen.

Einfluß extrem kalter und warmer Temperaturen auf den animalen Organismus, speziell auf den Menschen.

Mit Recht hat man es als einen wesentlichen Vorzug des Menschengeschlechtes erklärt, sowohl in extrem kalten als in extrem warmen Klimaten ohne Gesundheitsbeeinträchtigung ausdauern zu können. Auf dieser unter allen höheren animalen Organismen dem Menschen und seinem treuen Begleiter, dem Hunde, vorzüglich zukommenden Fähigkeit der Anpassung an jegliches Klima beruht die Möglichkeit der menschlichen Besiedelung der Erde. Werfen wir zunächst, um diese Frage in ihrer ganzen wissenschaftlichen Tragweite auffassen zu können, einen Blick auf die physiologischen Wirkungen, welche durch Temperaturextreme, in denen der animale Organismus noch zu leben vermag, auf den letzteren hervorgebracht werden.

Man hat vielfach das Verhalten lebender Tiere gegenüber künstlicher Abkühlung studiert; wir wollen hier nur die allgemeinsten Erscheinungen, die bei diesen Untersuchungen beobachtet wurden, hervorheben. Kleinere, an Temperaturextreme nicht gewöhnte Warmblüter, wie z. B. Kaninchen, zeigten, wenn ihre Eigentemperatur durch die Einwirkung der Kälte bis zu einem gewissen Grade gesunken war, zunächst eine auffallende Bewegungsträgheit, endlich Schwinden der Gehirnfunktionen. Der Tod durch Erfrieren scheint direkt durch Blutleere des Gehirnes zu

erfolgen, hervorgerufen durch die infolge der Kältewirkung eintretende Herabsetzung der Herzthätigkeit; denn wie alle anderen Organe, so arbeitet auch das Herz, wenn es unter seine normale Temperatur erkältet wurde, weniger lebhaft. Man kann Kaninchen, welche normal eine Eigentemperatur von ca. 39° C. besitzen, ohne daß ihr Leben erlischt, bis auf eine Körpertemperatur von + 15° C. abkühlen. Wenn der Körper aber diese niedrige Temperatur im ganzen angenommen hat, so ist das Kaninchen nicht mehr im stande, sich selbständig wieder zu erholen. Der Herzschlag vermindert sich dabei beträchtlich; ist die Körpertemperatur des Kaninchens bis auf 20° C. Wärme herabgesunken, so schlägt das Herz, welches normal 100—150 Schläge in der Minute macht, nur noch 50mal in der Minute, bei weiterem Sinken der Körpertemperatur fällt die Anzahl der Herzpulse auf 20, endlich hört das Herz ganz auf zu schlagen. Dann scheint das Tier tot und kann auch durch Wärmezufuhr von außen allein nicht mehr belebt werden. Es gelingt aber, solche Tiere, welche seit 40 Minuten durch Kälte scheinbar getötet sind, wieder vollkommen zu beleben, wenn man gleichzeitig mit einer langsam gesteigerten Wärme die Lungenthätigkeit durch „künstliche Atmung" wieder anregt. Diese künstliche Atmung, welche auch schon so vielen Menschen das scheinbar verlorene Leben wieder zurückgegeben hat, besteht darin, daß man die Brust durch sanftes Umgreifen und rhythmisches Drücken mit den Händen in etwa der gleichen Folge wie bei normaler Atmung verengert und sie sich dann durch ihre eigene Elastizität wieder ausdehnen läßt. Unter der gleichzeitigen Wirkung äußerer Wärme und künstlicher Atmung kehrt dann das Leben in den scheinbar erfrorenen Körper zurück; Gehirn und Nerven werden, nachdem sie so lange gelähmt waren, dadurch wieder belebt. Man kann Muskeln von kaltblütigen Wirbeltieren vollkommen gefrieren lassen, und doch kehrt ihnen die Erregbarkeit nach dem Auftauen wieder zurück.

Die Beobachtungen der Reisenden in arktischen Gegenden bestätigen die Ergebnisse der physiologischen Untersuchungen über die Einwirkung von Kälte auf warmblütige Tiere auch für den Menschen. Der berühmte Nordpolfahrer und Arzt Kane beschreibt als Wirkung der übermäßigen Kälte zuerst eine immer zunehmende Unlust und Unfähigkeit zur Bewegung; endlich steigt diese Hemmung der Bewegungsfähigkeit durch die Kälte bis zu einem so hohen Grade, daß eine Thätigkeit der Muskeln ganz unmöglich wird, und bald tritt eine Umnebelung der Sinne und Unfähigkeit zu denken ein, die fast unwiderstehlich zum Schlafe zwingt. Der berühmte Reisende beschreibt diesen Zustand des Erfrierens, der ihn selbst mehr als einmal an die direkte Grenze des Todes geführt hat, als schmerzhaft und ungemein peinlich. Er konnte nichts von der Annehmlichkeit des Schläfrigwerdens bei dem Erfrierungstode bemerken, von welcher man hinter dem Ofen im warmen Zimmer zu träumen pflegt. Wir wollen an dieser Stelle darauf aufmerksam machen, daß die Volksmeinung, der Branntwein, Alkohol, schütze in der Kälte gegen das Erfrieren, ein folgenschwerer Aberglaube ist. Durch die Wirkung des Alkohols wird die Haut reichlicher mit Blut durchströmt und infolge davon zwar selbst erwärmt, aber auch ihre Wärmeabgabe entsprechend gesteigert. Es ist auf das sicherste festgestellt, daß schon mäßige Dosen von Alkohol bei Körperruhe und nüchternem Magen die Gesamttemperatur infolge dieses eben erwähnten gesteigerten Wärmeverlustes an der stärker erwärmten Haut herabsetzen. Anstatt seine Wohnung zu heizen, oder um sich auf eine Wanderung in Winterkälte vorzubereiten, trinkt der Arme Branntwein. Die darauf folgende Steigerung der subjektiven Wärmeempfindung beruht auf einer durch den Alkohol gesetzten Erweiterung der Hautblutgefäße, wodurch den frierenden Teilen für den Augenblick mehr Wärme aus dem Inneren des Organismus zugeführt, im ganzen aber die im Körper disponible Wärmemenge übermäßig rasch verbraucht wird. Alkohol kann also nur gut und warm gekleidete und vor allem gut genährte Personen dauernd erwärmen. Die Todesfälle durch Erfrieren im Winter in unserem Klima beziehen sich zur übergroßen Mehrzahl

auf mangelhaft gekleidete Betrunkene. Da Alkohol die Zahl der Herzschläge vermehrt, so bewirkt er auch eine Steigerung der Blutzirkulation. Je rascher aber das Blut in den äußeren Körperregionen strömt, desto wärmer bleibt es im ganzen, desto wärmer wird also auch die äußere Körperoberfläche, desto größer unter sonst gleichen Bedingungen daher die Wärmeabgabe. Mit Recht legt die Wissenschaft daher unter den „abkühlenden" Regulierungseinrichtungen der menschlichen Körperwärme-Abgabe ein besonders entscheidendes Gewicht auf die raschere Blutzirkulation.

Die winterschlafenden Säugetiere besitzen eine sehr hohe Fähigkeit, Kälte zu ertragen. Hierbei sinkt ihre Eigentemperatur übrigens nicht weniger als bei nichtwinterschlafenden Tieren; der winterschlafende Suslik behält aber auch sogar bis auf 4° C. Körperwärme abgekühlt noch die Fähigkeit, sich selbständig durch Wärmezufuhr wieder zu beleben. Es beruht dies wesentlich darauf, daß die Herzthätigkeit bei den Winterschläfern durch Herabsetzung der Eigentemperatur weitaus nicht so stark leidet wie bei nichtwinterschlafenden Tieren. Während bei dem auf +20° erkälteten Kaninchen die Herzpulse in der Minute nur noch 50 oder 20 betragen, ja schon bei dieser Körpertemperatur ganz aufhören können, zeigt bei der gleichen Temperatur von +20° C. der Suslik noch 150 Herzschläge.

Die Eigentemperatur der Menschen und der Tiere im arktischen Klima ist, solange sie mit Erfolg den Einwirkungen der Kälte trotzen, keineswegs herabgesetzt. Parry fand bei einer Temperatur der Luft von —30° C. die Eigentemperatur arktischer Tiere zwischen +35 und 40° C. Es wäre sehr erwünscht, noch größere wissenschaftliche Beobachtungsreihen, welche auf alle Verschiedenheiten der äußeren Verhältnisse Rücksicht nehmen, über die Eigenwärme der Polarfahrer und der Eingeborenen arktischer Gegenden zu erhalten; bei ersteren wäre die normale Körpertemperatur vor Eintritt in die arktischen Regionen und bei der Heimkehr in wärmere Gegenden gleichfalls zu konstatieren.

Säugetiere sollen eine Herabsetzung ihrer Bluttemperatur bis auf +20° C. vertragen können, ohne (bei Anwendung künstlicher Atmung) zu sterben. Das scheint aber die normale untere Lebensgrenze der Temperatur für die höheren animalen Wesen, wahrscheinlich auch für den Menschen, zu sein.

Wie der höhere animale Organismus seine normale Eigentemperatur unter der fortgesetzten schutzlosen Einwirkung sehr bedeutender Kälte nicht behaupten kann, so sehen wir seine Widerstandsfähigkeit gegenüber höheren Temperaturen der Umgebung auch nicht unbegrenzt.

In einer mit Wasserdampf überladenen, 40° C. warmen Luft sterben warmblütige Tiere schon nach 2—4 Stunden, dabei steigt ihre Eigentemperatur, da ihre Wärmeabgabe durch Verdunstung aufgehoben ist, fortgesetzt an, bis sie um 2—6° C. die Temperatur der Luft übertrifft. Der Tod tritt ein, wenn die Eigentemperatur des Säugetieres +45 bis 46° C. erreicht hat. Dem Wärmetode geht zuerst ein Stadium der Ermattung und Schläfrigkeit wie dem Kältetode voraus, der Tod tritt in beiden Fällen unter Schwinden des Bewußtseins ein. Die Erscheinungen des Todes durch stärkere Erwärmung und durch Erfrieren zeigen also Ähnlichkeiten, obwohl die primären Wirkungen der Wärme denen der Kälte auf die Organe und Organismen entgegengesetzt sind. Bei höherer Temperatur sehen wir innerhalb gewisser Grenzen alle organischen Vorgänge rascher verlaufen. Speziell in den Nerven und Muskeln steigen dabei zuerst die Leistungsfähigkeit und Erregbarkeit an. Höhere Grade von Wärme vernichten aber sehr rasch die Lebenseigenschaften der Gewebe; Nerven, Muskeln, Blutkörperchen, Drüsenzellen sterben schon bei einer Erhöhung ihrer Temperatur um wenige Grade über die Normaltemperatur des Organismus plötzlich ab, indem eine Gerinnung ihrer Eiweißsubstanzen im Protoplasma eintritt, ein Zustand, welchen die Physiologen jetzt als Wärmestarre bezeichnen. Für die menschlichen Organe liegt diese äußerste obere Grenztemperatur des Lebens bei etwa 49—50° C.

10. Das Knochengerüst und seine Bewegungen.

Inhalt: Die Skeletbestandteile. — Der Menschen- und Affenschädel. — Anthropologische Betrachtungsweise der Schädel. — Die Schädelbildung der menschenähnlichen Affen. — Affenähnlichkeiten am Menschenschädel. — Der innere Hohlraum der Schädelkapsel. — Das Knochengerüst des menschlichen Rumpfes. — Das Knochengerüst des Armes und des Beines. — Die Beweglichkeit der Skeletknochen und die Gelenke. — Die Hauptbewegung des Arm- und Beinskelets. — Vergleich des Menschenskelets mit dem der menschenähnlichen Affen.

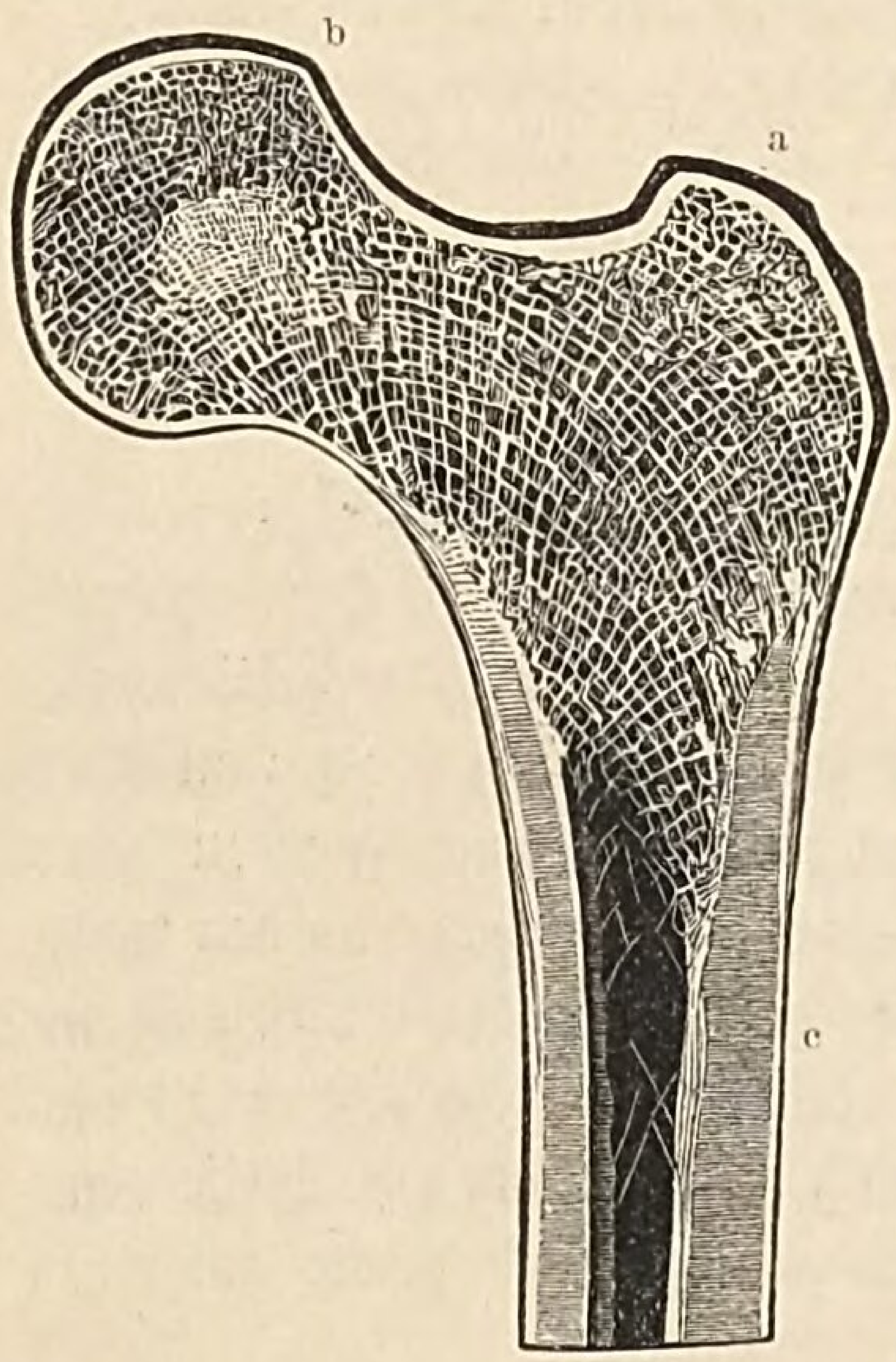
Die Skeletbestandteile.

Der Mechanismus der Bewegung und Arbeitsleistung des menschlichen Körpers ist von den Maschinen unserer Mechanik, die zum Ersatze der animalen Arbeitsleistung, zur Ortsbewegung von Lasten gebaut werden, in Beziehung auf Vollkommenheit der Einrichtungen noch keineswegs erreicht. Es ließe sich wohl denken, daß dereinst die Mechanik in Anwendung der am animalen Organismus erkannten Mechanismen der Bewegung vollkommenere Arbeitsmaschinen zu bauen im stande sein würde. Es wäre das nicht der erste Fall, in welchem die Mechanik an den mechanischen Einrichtungen des Organismus gelernt hätte. Erweckte doch in Euler die Betrachtung des menschlichen Auges, dessen lichtbrechender Apparat aus verschieden brechenden Substanzen zusammengesetzt ist, den fruchtbaren Gedanken, es müsse möglich sein, auf analoge Weise achromatische, das Licht nicht zerstreuende optische Instrumente zusammenzusetzen. In der Folge löste die Optik dieses Problem.

Die Maschine des menschlichen Körpers zerfällt, wie alle Kraftmaschinen, in zwei getrennte Hauptteile: in ein System passiv bewegter Maschinenteile, welche die Richtung der Bewegung, die Art und Weise der Übertragung des rohen Kraftvorrates bestimmen, und in die aktiv bewegenden Teile, in denen die Kraft der Bewegung lebendig wird, durch welche die passiv bewegten Hebelvorrichtungen in Gang gesetzt werden. Die aktiv bewegenden Maschinenteile repräsentieren im menschlichen Organismus die Muskeln und Nerven. Das von der Natur zur Herstellung der passiv bewegten Maschinenteile, für welche die Mechanik Metall, Stein und Holz benutzt, verwendete Material vereinigt die Vorzüge der drei genannten Stoffe in sich: es ist die Knochensubstanz in Verbindung mit dem Knorpel und den Bändern. Die Knochensubstanz besitzt durch ihre erdigen Bestandteile die Festigkeit des Steines, die Verbindung der Knochenerde mit der organischen Knochensubstanz, dem Knochenknorpel, erteilt dem Knochen die Elastizität der Metalle und des Holzes. In höherem Grade dehnbar und elastisch als der Knochen sind die Knorpelsubstanz und die bindegewebig-elastischen Bänder, welche beide der Verbindung der einzelnen Skeletteile untereinander vorstehen.

Wir unterscheiden kompakte und schwammige Knochensubstanz. Bei der kompakten Knochensubstanz bildet das Gewebe eine fest zusammenhängende Masse, dem Elfenbein ähnlich; bei der schwammigen Knochensubstanz umschließen knöcherne Balken und Bälkchen, Platten und Plättchen zahlreiche miteinander kommunizierende, teils weitere, meist aber sehr enge, mit Mark gefüllte Hohlräume. Die kompakte Knochensubstanz bildet in den langen Skeletknochen die massive Wandung größerer markerfüllter Höhlungen, noch häufiger umkleidet sie als eine dickere oder dünnere Platte wie eine äußere Rindenschicht schwammartige Knochensubstanz. Bei allen langen Röhrenknochen im Knochengerüste des Armes und des Beines besteht nur das Mittelstück aus einer dickwandigen Knochenröhre von kompakter Knochensubstanz, welche einen relativ weiten, mit Knochenmark erfüllten Hohlraum, den Markraum, umfaßt. Dagegen bestehen die beiden Gelenkenden jedes langen Knochens vorwiegend aus schwammiger Knochensubstanz. Dasselbe gilt

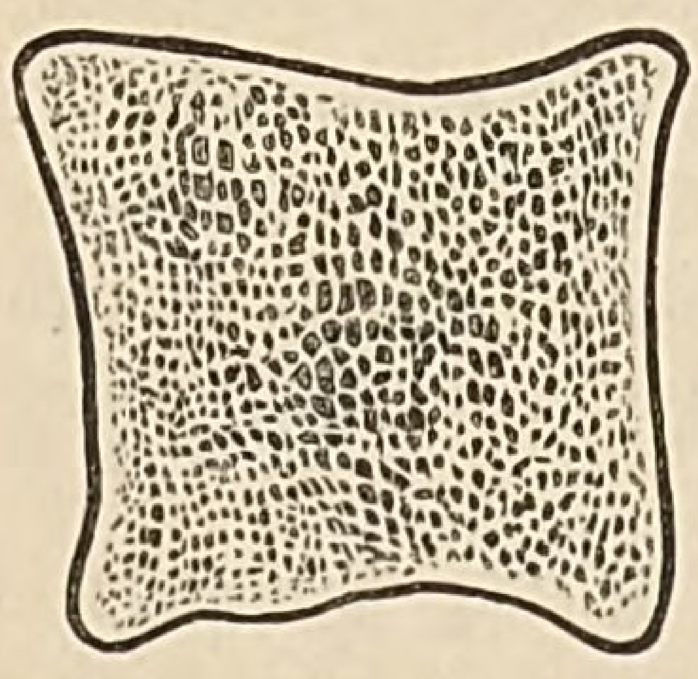
für alle Knochen von kurzer oder schalenförmiger Gestalt; der Hauptmasse nach aus schwammiger Knochensubstanz gebildet, werden sie nur äußerlich von einer Schicht kompakter Knochensubstanz, von einer Elfenbein- oder Glastafel, umkleidet. Die Festigkeit der kompakten Knochensubstanz erscheint weit beträchtlicher als die der schwammigen Knochensubstanz, aber keineswegs sind die schwammigen Knochen weniger widerstandsfähig gegen Druck und Stoß als die aus kompakter Masse bestehenden. Gerade besonders in Anspruch genommene Partien unseres Skelets, welchen eine besondere Widerstandsfähigkeit zugemutet wird (wie z. B. dem winkelig abgebogenen Halse des Oberschenkelknochens bei jeder Gesamtkörperbewegung, namentlich aber beim Sprunge, wobei die ganze Last des Oberkörpers plötzlich auf ihn stößt), bestehen nicht aus kompakter, sondern aus schwammiger Knochensubstanz; und die Erfahrung der Ärzte lehrt, daß Knochenbrüche durch die aus kompakter Substanz bestehenden Mittelstücke der Röhrenknochen weit häufiger sind als durch die aus schwammiger Substanz bestehenden Gelenkenden. Erst in neuerer Zeit ist es gelungen, die physikalische Ursache der bewunderungswürdigen Widerstandskraft der schwammigen Knochensubstanz zu ergründen.



Struktur der schwammähnlichen Substanz im oberen Gelenkende des Oberschenkels.

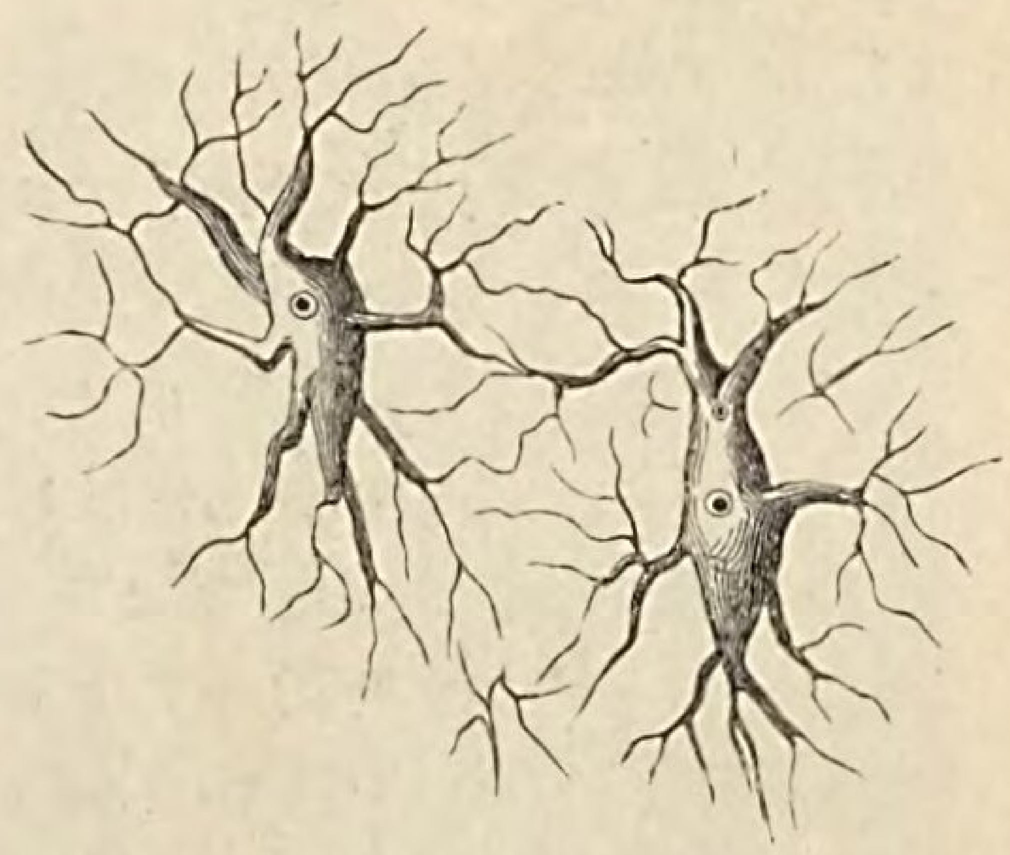
a) Großer Rollhügel, b) Gelenkkopf, c) Schaft des Knochens, aus dicker Elfenbeinsubstanz bestehend, d) Markhöhle.

In dem scheinbar verworrenen und dicht verschlungenen Netze, in welchem die Knochenbälkchen und -Blättchen die schwammigen Knochen durchsetzen, erkennen wir ein mechanisch vollendetes Gefüge elastischer Pfeiler und Sparren (s. nebenstehende Abbildung). In jedem Knochen ist dieses Gefüge anders angeordnet, aber immer so, daß die in der Architektur des Knochens das Fachwerk bildenden Knochenspangen den Zug- und Druckrichtungen entsprechen, denen der betreffende Knochen bei den normalen Bewegungen und Arbeitsleistungen unseres Körpers ausgesetzt ist. Jedes Knochenblättchen der schwammigen Substanz besitzt seine spezielle statische Bedeutung, seine bestimmte Aufgabe in dem scheinbaren Gewirre miteinander verbundener, in ihren Richtungen sich gegenseitig durchkreuzender Pfeiler. Der Bau der schwammigen Knochensubstanz erinnert an die Struktur jener ebenso leichten wie eleganten Gitterbrücken, durch welche die heutige Baukunst mit einem Minimum von Materialaufwand und in zweckmäßigster Form jene schweren massiven Steinbogen ersetzt, welche eine ältere Zeit über Ströme und Thäler spannte. Der eigentliche Entdecker der Baustruktur der schwammartigen Knochensubstanz ist Hermann Meyer. Mathematisch wurde durch Culman und Julius Wolf festgestellt, „daß der menschliche Oberschenkelknochen genau nach den Prinzipien der Statik gebaut ist, so genau, wie nur je ein Ingenieur einen Körper konstruieren könnte, der in gleicher Weise wie der Oberschenkel Druck und Zug auszuhalten hätte“ (J. Wolf), und daß in allen den darauf näher geprüften Knochen die Architektur der Knochenbälkchen in der schwammartigen Substanz den theoretischen Linien der graphischen Statik vollkommen entspricht. Die Richtung der Gitterbälkchen hält genau diejenigen Drucklinien ein, welche sich mit mathematischer Genauigkeit an Konstruktionen ziehen lassen, deren Form und Leistungen mit denen der Knochen direkt vergleichbar sind. Ein feiner Längsschnitt durch das obere Ende des Oberschenkelknochens zeigt uns die Bälkchen von der einen


Schwammige Knochensubstanz. Durchschnitt eines Wirbelkörpers.

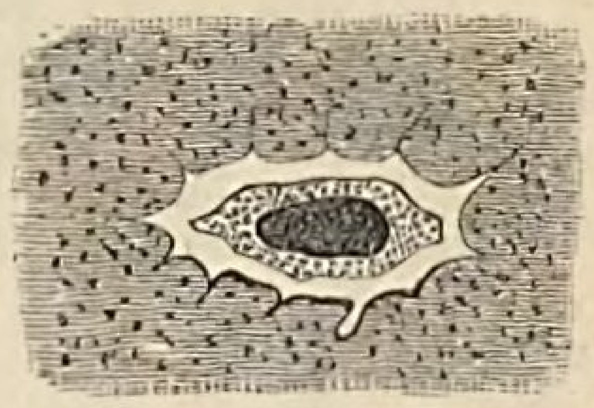
Grenze der kompakten Substanz spitzschwibbogenförmig zur anderen Grenze derselben ziehen. Diese Züge durchkreuzen sich und schließen kleine leere Dreiecke und Vierecke mit zum Teil abgerundeten Ecken ein; auch senkrecht zur Achse des Knochens parallel aufsteigende und quer zur Achse des Knochens senkrecht stehende Züge von Bälkchen finden sich. Ganz anders ist, wie gesagt, der Bälkchenverlauf in anderen schwammartigen Knochen, z. B. den Wirbelkörpern (s. die untere Abbildung), stets aber den mechanischen Anforderungen vollkommen angepaßt.

Auch an der Gesamtgestalt der langen Röhrenknochen bemerken wir Einrichtungen, welche ihre Widerstandsfähigkeit gegen Zug, Druck und Stoß erhöhen. Die Röhrenknochen besitzen gewisse Krümmungen, durch welche sie in höherem oder niedrigerem Grade federnd werden. Oberschenkel- und Oberarmknochen zeigen eine einfache, leichte Bogenkrümmung; die Krümmung der Elle des Vorderarmes, des Schienbeines im Unterschenkel ist wie die des Schlüsselbeines schwach wellenförmig oder doppelt S-förmig. Springen wir von einer Höhe herab, so wirkt auf die nach vorn schwach konvex gebogenen Oberschenkelknochen das durch den Fall vermehrte Gewicht unseres Oberkörpers. Infolge der Elastizität der Knochen steigert sich dabei ihre Krümmung, ihr schwach konvexer Bogen wird momentan etwas stärker gekrümmt, wie ein biegsamer Stab, den wir gegen den Boden drücken, und federt dann wieder zurück. Erst wenn die durch die Belastung hervorgerufene Biegung die Kohäsions- und Elastizitätsgrenze des Knochens übersteigt, bricht dieser und zwar an der Stelle der stärksten Krümmung. Die doppelt S-förmige Krümmung des menschlichen Rückgrates verwandelt dieses in eine elastische Feder, ein Verhältnis, welches für die Möglichkeit und Leichtigkeit des aufrechten Ganges des Menschen entscheidend ist.



Knochenkörperchen mit dem Netz der Kalkkanälchen. Vergrößert.

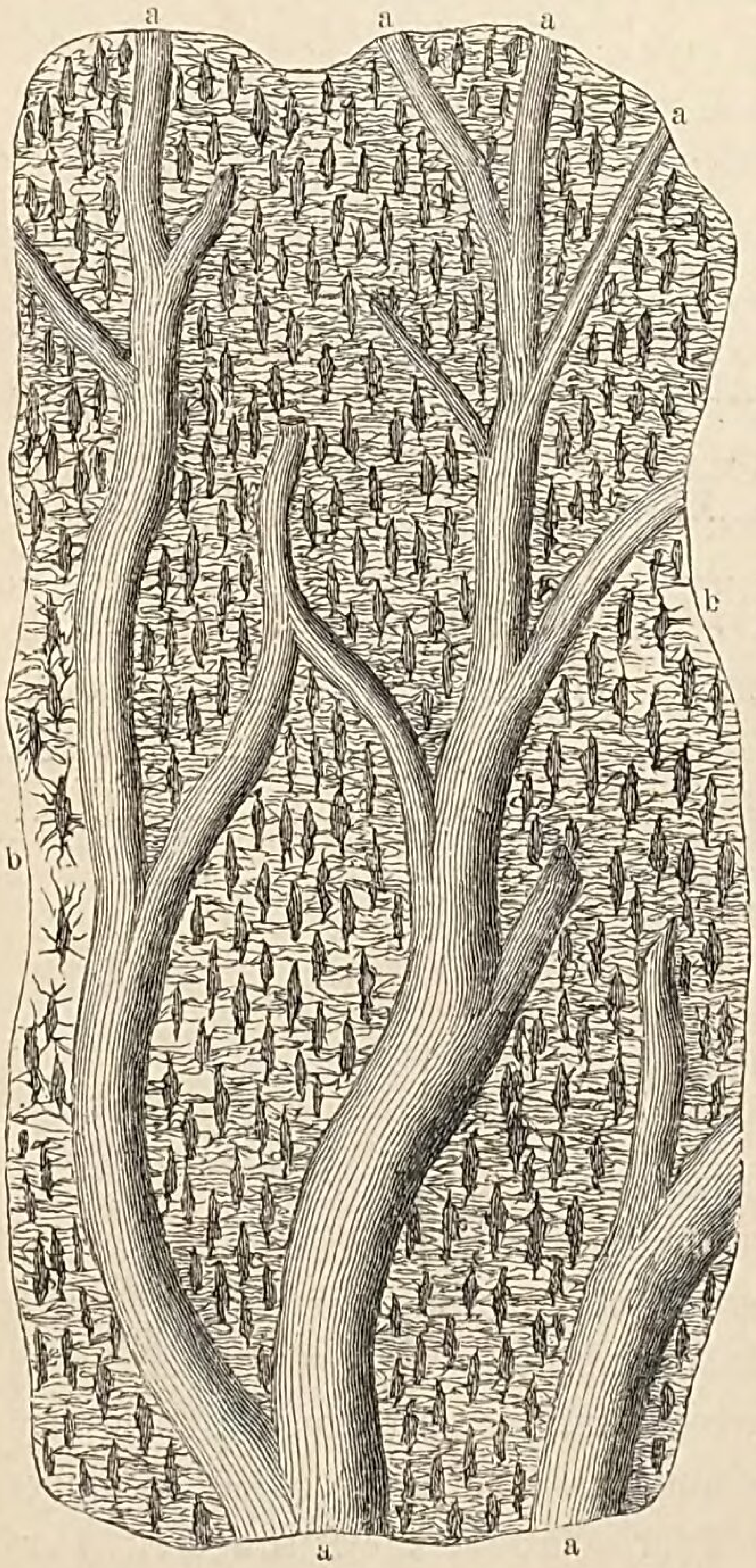
Alle Knochen werden von einer Faserhaut, der Knochenhaut oder Beinhaut, überkleidet; sie ist die Trägerin der Blutgefäße, Saugadern und Nerven für den Knochen und erweist sich für dessen Wachstum und Ernährung von größter Bedeutung. Die dem Knochen direkt anliegende Innenschicht der Beinhaut besteht aus dicht stehenden, rundlichen „knochenbildenden Zellen", von welchen das Dickenwachstum des Knochens ausgeht. Die Blutgefäße und Nerven der Knochen treten durch weitere oder engere Ernährungslöcher, am zahlreichsten an der Außenfläche der schwammigen Knochen in das Knocheninnere ein, wo sie in Ernährungskanälchen von verschiedener Enge, Haverssche Kanälchen, durch die kompakte Substanz in die schwammige Substanz hineingelangen und im Bindegewebsgerüst des Knochenmarks verlaufen.



Knochenkörperchen mit kontrahiertem Protoplasma. Vergrößert.

Seiner Funktion und seinem mikroskopischen Bau nach gehört, wie wir vernommen haben, das Knochengewebe zu den Geweben der Bindesubstanz. Das Knochengewebe entsteht nicht von vornherein als solches im Körper der sich bildenden menschlichen Frucht, sondern aus weicheren Modifikationen des Bindegewebes, aus Knorpel und hautartigem Bindegewebe. Anstatt der in die Grundsubstanz eingebetteten kugeligen, rings geschlossenen Zellen des Knorpels oder der zackigen, oft sternförmigen Zellen des weichen häutigen Bindegewebes finden wir in der Knochensubstanz die charakteristischen Virchowschen Knochenzellen oder Knochenkörperchen (s. obenstehende Abbildungen). Die Knochenzellen liegen eingebettet in erweiterten Kreuzungspunkten oder Lakunen eines außerordentlich zarten Maschennetzes von Hohlkanälchen, die als Kalkkanälchen die gleichartige Zwischenzellenmasse der Knochensubstanz, in welcher die kalkigen Knochenbestand-

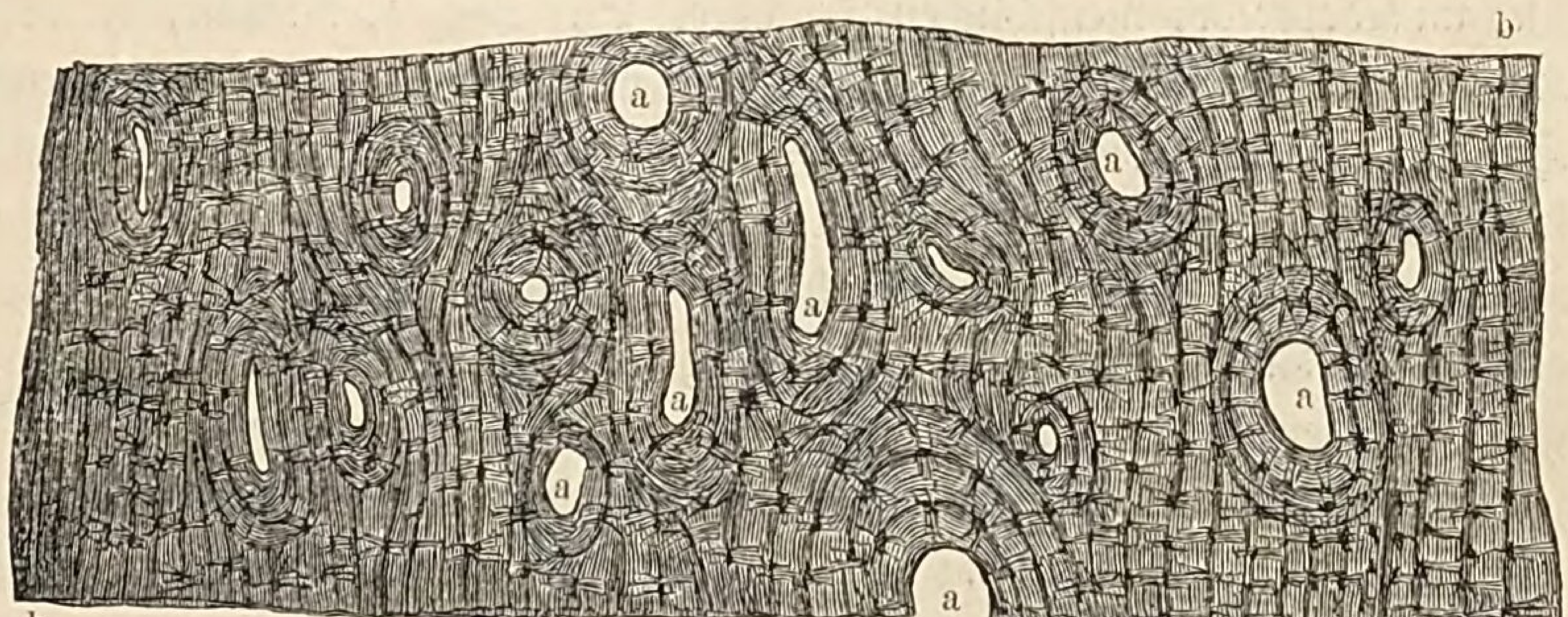
teile eingelagert sind, durchziehen. Die Knochenzelle stellt sich als ein nacktes, länglich spindelförmiges Protoplasmaklümpchen dar, welches einen länglichen oder runden Kern einschließt und aus seiner Oberfläche öfters kleine, gegen die Mündungen der Kalkkanälchen in ihre Lakune gerichtete Protoplasmafortsätze aussendet. In jede der kleinen Knochenhöhlen oder Lakunen, in welcher eine Knochenzelle wohnt, mündet eine Anzahl von Kalkkanälchen ein, hier gleichsam zu einem gemeinsamen Knotenpunkte verschmelzend, um sich bald wieder zu trennen. Das zarte Kanalnetz der Kalkkanälchen steht in offener Kommunikation mit den oben erwähnten vielverzweigten weiteren Knochenkanälchen, den Haversschen Kanälchen, in denen die Blutgefäße des Knochens verlaufen. Die Haversschen Knochenkanälchen durchsetzen den ganzen Knochen von dessen Oberfläche unter der Knochenhaut an, wo sie offen münden, um von der Knochenhaut aus die Blutgefäße eintreten zu lassen, bis zu den inneren weiteren oder schwammartig angeordneten Markhöhlen. Namentlich gut auf parallel zur Längenachse langer Knochen geführten feinen Schnitten erkennt man die Verzweigung der Knochenkanälchen, welche der Verzweigung der Blutgefäße im Knochen entspricht (s. nebenstehende Abbildung). Senkrecht zur Längenachse des Knochens geführte feine Schnitte zeigen uns das Knochengewebe um die Knochenkanälchen deutlich konzentrisch geschichtet (s. Abbildung, S. 365); eine zweite Schichtung der Knochensubstanz läuft der äußeren Oberfläche der langen Knochen parallel, beide Schichtensysteme stören und durchbrechen sich im Inneren des Knochens vielfach, erst unter der Beinhaut erscheint die letzterwähnte Schichtenfolge in regelmäßiger Anordnung.



Knochenlängsschnitt. Vergrößert.
a) Haverssche Kanälchen, b) Knochensubstanz mit eingelagerten Knochenkörperchen.

Die Verbindung der einzelnen Skeletknochen untereinander zu dem zusammenhängenden Knochengerüst wird teils durch Knorpel, teils durch Bänder vermittelt. Die Skeletbänder dienen zwar auch wesentlich zur Befestigung der Skeletabschnitte untereinander, namentlich aber tragen sie bei zur Ermöglichung und Beschränkung der Stellungsveränderungen der einzelnen Knochen gegeneinander und damit zur Bewegung und Arbeitsleistung des ganzen Menschenkörpers. Die Bänder erscheinen entweder weiß und glänzend und lassen dann bei der mikroskopischen Untersuchung vorwiegend lockiges Bindegewebe, von elastischen Fasernetzen durchsetzt, erkennen, oder sie haben ein gelbliches Aussehen und bestehen dann fast ausschließlich aus elastischem Gewebe. Die Farbe dieser zweiten Art der Bandapparate, der elastischen Bänder, ist gelb. Unter den elastischen Bändern erscheint bei Tieren das elastische Nackenband besonders entwickelt, dessen anthropologische Bedeutung für die Haltung des Kopfes an der Wirbelsäule uns in der Folge noch eingehend beschäftigen wird. Ein anderer Teil der Verbindungen der Skeletknochen wird durch Knorpel vermittelt. Auch von dem Knorpel unterscheiden wir zwei durch ihr äußeres Aussehen und mikroskopische Struktur verschiedene Modifikationen: den echten oder hyalinen,

durchsichtigen, Knorpel, wofür als Hauptbeispiele auf die Rippenknorpel und den Knorpelüberzug fast sämtlicher Gelenkenden der Knochen hingewiesen werden kann, und den gelblichen Faserknorpel, welcher z. B. die Knorpelverbindung der einzelnen Wirbel untereinander vermittelt. Auch das Kiefergelenk, als Ausnahme von den Gelenken des menschlichen Körpers, besitzt Faserknorpel. Der Knorpel unterscheidet sich von den übrigen Geweben der Bindesubstanz dadurch, daß er keine Blutgefäße enthält. Daraus erklärt sich die vergleichsweise geringe Energie, mit welcher die Lebenserscheinungen innerhalb des Knorpels verlaufen. Keineswegs fehlt aber der Knorpelsubstanz ein Strom von Ernährungssaft. Ähnlich wie der Knochen von der Beinhaut, ist der Knorpel von einer gefäßführenden Knorpelhaut überkleidet. Von diesen Gefäßen der Knorpelhaut aus dringt die Nährflüssigkeit in ein feinstes Lückensystem ein, welches, den Fasern und Faserbündeln der Knorpelzwischenzellensubstanz folgend, diese in reicher netzförmiger Verbindung durchsetzt und in die weiteren Höhlungen, die Knorpelkapseln, einmündet, in welchen die nackten Protoplasmaleiber der Knorpelzellen liegen. Das Verhältnis erinnert sonach doch an das oben geschilderte der Kalkkanälchen in der Knochenzwischenzellensubstanz.



Knochenquerschnitt, vergrößert. a) Querschnitte durch die Haversschen Kanälchen, umgeben von konzentrisch gelagerten Knochenlamellen. b) Horizontale Schichtung der letztern, Grundlamellen an der äußern und innern Knochenoberfläche.

Der Bandapparat, welcher mit den Knorpeln den Zusammenhalt der einzelnen Skeletstücke vermittelt, indem er in zahlreichen Bändern an der Außenseite der Knochen hinläuft, umschließt die beweglich aneinander stoßenden Knochenenden, die Gelenke, mit häutigen, mehr oder weniger dicht anliegenden Kapseln, deren Festigkeit noch durch besondere, entweder auf der Außenseite oder im Inneren der Gelenke verlaufende Hilfsbänder verstärkt wird. Die Bänder bestehen der Hauptsache nach aus häutigem, lockigem Bindegewebe, welches sich durch eine große Festigkeit auszeichnet. Geringen Spannungsgraden gegenüber erweist es sich auch ziemlich dehnbar, über eine gewisse niedrige Grenze hinaus läßt es sich aber überhaupt nicht dehnen; es wird dann steif und unnachgiebig, Eigenschaften, welche uns namentlich an den Gelenkbändern, die dadurch gewisse Bewegungen der Glieder gestatten oder verbieten, in auffälliger Weise entgegentreten. Die Festigkeit und Elastizität des lockigen, häutigen Bindegewebes wird noch gesteigert durch jenen in ihm eintretenden physiologischen Härtungsprozeß, welcher die Entstehung elastischer Fasereinlagerungen hervorruft und schließlich zur Bildung wahrer elastischer Häutchen, Membranen und Bänder führt. Überall im Körper ist das häutige Bindegewebe Träger der Blutgefäße und vermittelt die Blutzufuhr zu allen von ihm umschlossenen Organen.

Der nicht unbedeutende Blutreichtum der eigentlichen Knochensubstanz spricht für einen vergleichsweise regen Verlauf der Stoffwechselvorgänge in den Knochen trotz ihrer steinartigen Festigkeit, welche sie an die Bildungen der unbelebten Natur anzureihen scheint. Wir haben schon angedeutet, daß dieser Charakter der Steinähnlichkeit den Knochen erteilt werde durch Einlagerung kalkiger, erdiger Substanz in die Knochenzwischenzellenmasse. Diese erdige Substanz der Knochen, welche bei Verbrennung derselben in starker Hitze und bei der Verwesung unter Beibehaltung der

Knochenform als verkalkter, kalcinierter, Knochen allein zurückbleibt, besteht im wesentlichen aus phosphorsaurem Kalke. Nach den besten neueren Untersuchungen scheint die chemische Zusammensetzung der Knochenerde eine konstante zu sein. Es findet sich darin nach Äbys Analysen überwiegend viel neutraler phosphorsaurer Kalk (etwa 84 Prozent) mit wenig phosphorsaurer Magnesia und kohlensaurem Kalk; ein geringer Teil des Kalkes erscheint auch an Fluor und Chlor gebunden.

Die Knochenerde läßt sich durch chemische Einwirkungen aus dem Knochen ausziehen, wie das auch in der Natur, z. B. bei Einlagerung von Knochen in Torf durch die Humussäuren, geschieht; es bleibt dann in der alten Form des Knochens, mit den Blutgefäßen, Nerven, Fett rc., die organische Grundsubstanz des Knochens als elastisch-biegsame Masse zurück, welche man als Knochenknorpel, Ossein, zu bezeichnen pflegt. Keineswegs ist der Knochenknorpel mit wahrem Knorpel anatomisch oder chemisch identisch. Wie schon angegeben, entstehen nicht einmal alle Knochen in der Bildungsperiode des menschlichen Organismus aus Knorpel, sondern eine Anzahl Knochen und Knochenabschnitte bilden sich aus häutigem Bindegewebe. Knorpelig vorgebildet sind im Körper der menschlichen Frucht die Wirbelsäule, Rippen, Brustbein, Schlüsselbein, die Knochen des Arm- und Beingerüstes und der Schädelbasis; dagegen entstehen die Schuppe des Hinterhauptbeines, die Scheitelbeine, das Stirnbein, die Schuppe des Schläfenbeines, die Schaltknochen der Schädelnähte, die Gesichtsknochen aus einer häutigen, bindegewebigen Grundlage. Jene Stellen, an welchen durch Einlagerung der für die Knochensubstanz charakteristischen Knochenerde in die Knochenzwischenzellenmasse der Knochenbildungsprozeß eines künftigen Knochens beginnt, werden als Verknöcherungspunkte, Ossifikationszentren, bezeichnet. Die Zellen jener Schichten, welche sich in Knochen umwandeln, tragen den Namen Knochenbildner, Osteoblasten. Durch Einwirkung von Salzsäure und eine Reihe anderer chemischer Einflüsse geht die organische Grundsubstanz aller Knochen in Leim, Knochenleim, über, in den gleichen chemischen Stoff, welcher unter denselben Bedingungen aus der Grundsubstanz der häutigen Bindegewebsbildungen entsteht. Dieselbe chemische Behandlung erzeugt dagegen aus dem wahren Knorpel eine von Knochenleim chemisch verschiedene Substanz, Knorpelleim, ein Beweis dafür, daß bei der Umwandlung des Knorpels in Knochen auch eine wesentliche physiologisch-chemische Umgestaltung der organischen Substanz des Gewebes erfolgt. Im Mittel ergaben Volkmann eine große Anzahl von chemischen Untersuchungen der Menschenknochen folgende Zusammensetzung:

Wasser	50,00 Prozent
Fett	15,75 „
Knochenknorpel (mit Blutgefäßen, Nerven rc.)	12,40 „
Knochenerde	21,85 „

Bei kleinen Kindern und abgezehrten Personen ist der Prozentgehalt des Knochengewebes an organischer Substanz geringer, namentlich darum, weil bei ihnen der Fettgehalt der Knochen, der bei Schwindsüchtigen unter 1 Prozent sinken kann, nicht so hoch ist. Die schwammigen Knochen sind viel wasserreicher als die kompakten, ebenso fettreicher. Nach Volkmann schwankt der Wassergehalt der Knochen desselben Skelets von 16,5—68,7 Prozent, der Fettgehalt von 0,1 bis 67,9 Prozent.

Die Widerstandsfähigkeit der Knochensubstanz gegen Fäulnis wird nur noch durch die des Zahnschmelzes übertroffen. Fossile Knochen aus der Diluvialepoche geben zum Teil nach Ausziehen der Knochenerde durch verdünnte Säure noch Leim. In manchen Fällen hat man den Fluorgehalt der diluvialen Knochensubstanz etwas größer gefunden als bei den Knochen der jetzt lebenden Tiere. Ein Schluß auf das geologische Alter der Knochen läßt sich aus ihrem Gehalte an organischer Substanz meist nicht ziehen, da die letztere sehr verschieden rasch der

Zersetzung unterliegt, je nach den Verhältnissen, unter denen jene im Boden liegen. In lockeren, lufthaltigen Schichten erfolgt die Zersetzung relativ sehr rasch.

Die Knochen wachsen teils durch interstitielle Prozesse, d. h. durch Einlagerung in die Masse, teils durch äußeren Ansatz neuer Knochenlagen an die schon gebildeten, ein Vorgang, mit dem eine fortschreitende Auflösung, Resorption, von den die Markhöhle begrenzenden Knochenschichten Hand in Hand geht; dadurch wird mit dem Wachstum des Knochens auch seine Markhöhle vergrößert. Das Dickenwachstum erfolgt durch Verknöcherung der inneren, dem Knochen direkt anlagernden Schichten der Knochenhaut. Das Längenwachstum langer Knochen beruht ebenfalls auf Ansatz neuer Knochenmasse an die schon gebildete. Die langen Knochen bilden sich aus drei durch Zwischenknorpel miteinander verbundenen Stücken, es sind dies: das Mittelstück, die Knochenröhre und die beiden Gelenkenden. Ihr Längenwachstum erfolgt durch Anbildung neuer Knochensubstanz von den beiden zwischen der Knochenröhre und den beiden Gelenkenden eingelagerten Knorpelschichten aus.

An jenen Stellen des Knochens, an denen Auffaugung, Resorption, der Knochensubstanz eintritt, z. B. in der Wandung der Markhöhle des wachsenden Knochens, am Knochen und Zahngewebe während des Zahnwechsels, erscheint die schwindende Oberflächenschicht des Knochens mit feinen Grübchen besetzt. Diese Grübchen sind meist je von einer „Riesenzelle" eingenommen, welche durch Umgestaltung einer Bildungszelle des Knochengewebes entsteht. Diese Riesenzellen sind es, unter deren Einwirkung sich z. B. das Knochen- und Zahngewebe während des Zahnwechsels auflöst; man hat sie daher als Knochenfresser oder Knochenbrecher, Osteophagen oder Osteoklasten im Gegensatz zu den oben erwähnten Osteoblasten, benannt. Bei dieser Auflösung schwindet gleichzeitig die organische wie die erdige Knochensubstanz.

Mit Rücksicht auf die allgemeine Gestalt der Knochen unterscheidet man: 1) platte, flache oder breite Knochen: die Knochen der Schädeldecke, die Schulterblätter, die Hüftbeine, das Brustbein; 2) kurze oder dicke Knochen, von rundlich oder unregelmäßig vieleckiger Gestalt: die Handwurzel- und Fußwurzelknochen, wohl auch die Kniescheibe und die in manchen Sehnen eingelagerten kleinen Sesambeinchen; 3) lange Knochen oder Röhrenknochen, bei deren Gestalt die Längsausdehnung vorwiegt. An den langen Knochen benennt man, wie schon oben angeführt, das rundlich-cylindrische oder mehr kantige Mittelstück als Körper oder Schaft, an welchem die beiden etwas dickeren Gelenkenden ansitzen, welche in der Jugend mit dem Schafte durch Knorpel verbunden sind, im erwachsenen Alter aber mit ihm zu einem einzigen Knochen verschmelzen. Zu den langen Knochen werden die Knochen der Arme, Beine, der Mittelhand, des Mittelfußes sowie die der Finger und Zehen gerechnet. Eine (4.) Gruppe von Knochen des Skelets bilden die unregelmäßig gestalteten Knochen; man zählt zu ihnen die Knochen des Gesichtes und die Wirbel.

Die platten und kurzen Knochen bestehen vorwiegend aus schwammiger Knochensubstanz, um welche die kompakte Knochensubstanz eine mehr oder weniger dicke Rinde bildet. Die schwammige Substanz der platten Schädelknochen führt den besonderen Namen Diploe. Bei den langen Knochen besteht der Schaft aus einer die Markhöhle umschließenden Röhre kompakter Knochenmasse, die innere Wandung geht in weitmaschige, schwammige Knochensubstanz über, deren zarte Knochenbälkchen teilweise die Markhöhle durchsetzen. An den Gelenkenden nimmt die Dicke der die äußere Hülle bildenden kompakten Knochenmasse mehr und mehr ab, und die Markhöhle wird durch engmaschigere, schwammige Substanz ersetzt. Bei den gemischten Knochen ist das Verhalten der kompakten zur schwammigen Substanz ein mehr ungleichmäßiges.

Noch haben wir einen Blick auf die Verbindung der das Skelet bildenden Knochen untereinander zu werfen. Die Verbindung der Knochen kann eine unbewegliche oder eine be-

wegliche sein. Die unbewegliche Verbindung wird bei flachen Knochen teilweise in der Weise erreicht, daß die aneinander stoßenden Knochenränder flacher Knochen vermittelst ihrer Erhabenheiten und Vertiefungen mit Zacken und Einschnitten ineinander greifen; dadurch entstehen die wahren Nähte, Knochennähte. Diese Verbindung wird durch eine schmale zwischengelagerte Knorpelschicht, den Nahtknorpel, noch weiter gefestet. Je nach der Art des Zusammenschlusses unterscheidet man an den Schädelknochen verschiedene Nahtformen: die Zackennähte und die Sägenähte mit kurzen, in doppelter Reihe angeordneten Zähnen; die Zahnnaht mit langen, spitzen Zacken; die Saumnaht, bei welcher die Knochenränder, vermittelst größerer Aus- und Einbiegungen mit kleineren Zacken besetzt, ineinander greifen. Als falsche Naht bezeichnet man Verbindungen, bei denen weniger ineinander greifende Knochenzacken als der Nahtknorpel die Verbindung herstellen; legen sich die Knochen mit zugeschärften Rändern schuppenartig übereinander, so bilden sie eine Schuppennaht; legen sich zwei gerade Knochenränder aneinander, so bezeichnet man diese Verbindungsweise als Anlagerung oder Harmonie.

Von der Naht unterscheidet man die Fuge und Knorpelhaft. Bei der Fuge, Symphyse, werden zwei annähernd ebene Knochenflächen durch eine mit beiden innig verwachsene Faser- und Knorpelschicht verbunden; bei der Knorpelhaft verbinden sich zwei Knochen durch wahren Knorpel miteinander. Sowohl bei Fuge als bei Knorpelhaft gestattet die Elastizität des Knorpels eine gewisse Beweglichkeit der verbundenen Knochen, welche um so ausgiebiger wird, je dicker und weicher der verbindende Knorpel ist. Als Beispiel der Fuge kann die Symphyse der Beckenknochen, als Beispiel der Knorpelhaft die Knorpelverbindung der Rippen mit dem Brustbeine dienen. Zu den unbeweglichen Knochenverbindungen rechnet man noch die Bandhaft, bei welcher die dicht aneinander liegenden Knochen durch kurze, straffe Bänder vereinigt werden, und die Einkeilung eines zapfenförmigen Körpers in eine knöcherne Höhle, eine Verbindung, wie sie zwischen den streng genommen nicht zum Knochensystem gehörenden Zähnen und den Kieferknochen statthat.

Die zweite Hauptgruppe der Knochenverbindungen bilden die beweglichen Knochenverbindungen, die Gelenke, deren genaueren anatomischen Bau wir, soweit er noch nicht zur Darstellung kam, erst an einer späteren Stelle besprechen werden. Man pflegt vier Gelenkhauptformen zu unterscheiden: 1) Das freie Gelenk, Kugel- und Pfannengelenk oder Nußgelenk, welches Bewegung nach mehreren verschiedenen Richtungen und Rotation gestattet. Zu einem freien Gelenk gehören ein mehr oder weniger kugeliger Gelenkkopf an dem einen und eine rundliche Gelenkgrube an dem anderen der beiden im Gelenk zusammenstoßenden Knochen. Als Beispiele dienen das Oberarm- und Hüftgelenk. 2) Das Gewinde- oder Scharniergelenk, dessen Bewegungsmöglichkeit sich im wesentlichen auf Beugung und Streckung beschränkt. Meist hat hier das Gelenkende des einen Knochens die Gestalt eines quer liegenden, in der Mitte eingetieften Halbcylinders, einer halben Rolle, welche in eine genau entsprechende rinnenförmige, mit einer mittleren Erhabenheit versehene Vertiefung des zweiten Gelenkknochens eingreift. Als typisches Beispiel eines Scharniergelenkes dient die Gelenkverbindung zwischen Oberarmbein und der Elle des Vorderarmes. Die seitliche Verschiebung wird bei solchen Gelenken meist durch seitlich verlaufende Gelenkbänder, seltener dadurch verhindert, daß, wie am Fußgelenke, der eine Knochen in der Gelenkgrube des anderen durch zwei an der Seite vorspringende Knochenfortsätze eingeklemmt wird. 3) Das Radgelenk oder Drehgelenk, welches Raddrehung um eine mit der Länge des Knochens annähernd parallele Achse gestattet. Die Enden zweier langer Knochen stoßen hier, das eine mit einem kugeligen Köpfchen, das andere mit einer einen Abschnitt einer Kugelschale bildenden kleinen Gelenkpfanne, aneinander. Das Radgelenk ist eigentlich ein Kugelgelenk mit teilweise beschränkter Beweglichkeit, in der Gelenkumgebung liegt die Ursache der Bewegungsbeschränkung. Als Beispiel gilt das Gelenk zwischen Oberarmbein und Speiche des Vorderarmes.

Als Unterabteilungen dieser Hauptgelenkformen erwähnen wir noch das Sattelgelenk, wie sich ein solches zwischen dem Mittelhandknochen des Daumens und dem vieleckigen Beine der Handwurzel findet; es ist dadurch charakterisiert, daß die Gelenkflächen der beiden im Gelenk zusammenstoßenden Knochen konkav in der einen und konvex in der auf der ersteren senkrechten Richtung sind. Ein Reiter im Sattel gibt uns einen anschaulichen Vergleich für diese Art von Gelenkverbindung. Der Sattel ist in der Richtung von vorn nach hinten konkav, in der Richtung von rechts nach links konvex, während der Reiter mit der Konkavität der Innenfläche seiner Oberschenkel von rechts nach links und mit der Konvexität seines Sitzes von vorn nach hinten in den Sattel hineinpaßt. Die Sattelgelenke gestatten daher eine freie Beweglichkeit in den zwei aufeinander senkrechten Richtungen ihrer Konkavität und Konvexität, dabei aber auch eine geringere in den dazwischenliegenden Richtungen. Das Zapfengelenk wird repräsentiert durch das Gelenk zwischen dem ersten und zweiten Halswirbel, Atlas und Epistropheus oder Träger und Dreher des Kopfes. Der eine Knochen hat die Form eines Zapfens, um welchen der andere, ringförmig gestaltete sich dreht (s. Abbildung, S. 413). Der zweite oder Drehwirbel des Halses besitzt einen an seiner Vorderseite senkrecht sich erhebenden Zapfen, den zahnförmigen Fortsatz, neben welchem sich zwei schräg gestellte Gelenkflächen befinden, welche Gelenkflächen am unteren Teile des Atlas, des ersten Halswirbels oder Trägers des Kopfes, entsprechen; dieser Wirbel ist ein Knochenring, der mit seinem vorderen Abschnitt den Zahnfortsatz umgreift und hier an der Innenseite eine cylindrisch-konkave Gelenkfläche besitzt, mit der er sich unter Mitbenutzung der beiden eben erwähnten Gelenke um den Zahnfortsatz zu drehen vermag. Durch ein am Atlas befindliches Querband wird der Zahnfortsatz in dem Gelenkausschnitt des Atlas befestigt. 4) Das straffe Gelenk mit allseitig beschränkter Beweglichkeit. Die flach konvex-konkaven oder unregelmäßigeren Gelenkflächen werden bei den straffen Gelenken durch kurze Gelenkhilfsbänder mehr oder weniger fest aneinander gehalten. Als Beispiel führen wir die Verbindung zwischen Schlüsselbein und Schulterblatt an. In manchen Gelenken liegt zwischen den beiden Gelenkenden noch eine freie Faserknorpelscheibe als Gelenkzwischenknorpel.

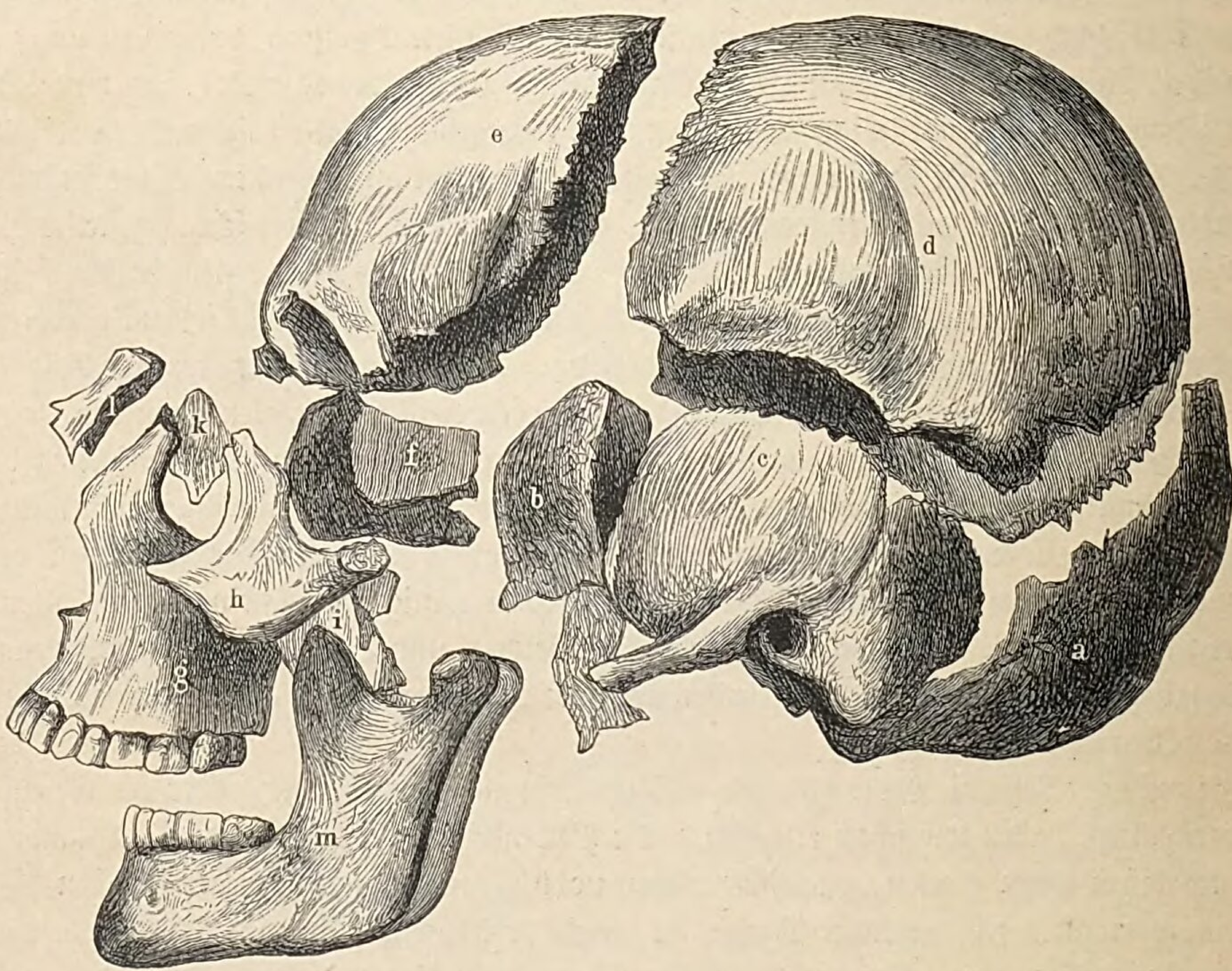
In welcher Weise die Gelenkkapseln im Verein mit ihren Hilfsbändern die Gelenkenden zusammenhalten, haben wir schon erwähnt. Die Beweglichkeit der Gelenkenden aneinander wird wesentlich durch ihren glatten, elastischen Knorpelüberzug unterstützt; der gleichen Aufgabe dient eine normal in sehr geringer Menge im Gelenk enthaltene schleimige Flüssigkeit, die Gelenkschmiere (Synovia). Namentlich bei den sich winkelig biegenden Gelenken sind die Gelenkkapseln durch starke Seitenbänder verstärkt. In einigen Gelenken finden sich auch freie Bänder im Inneren des Gelenkes, so im Kniegelenk die Kreuzbänder, im Hüftgelenk das runde Band, welches, von dem Boden der Gelenkpfanne entspringend, am Oberschenkelkopf im Gelenk selbst sich anheftet.

Der Menschen- und Affenschädel.

Der Zentralteil des Knochengerüstes besteht aus dem Rumpfe mit dem dazu gehörigen Kopfe. Die Gesamtheit der Knochen dieses Zentralteils bildet zwei lange, unvollkommen geschlossene Hohlräume (s. Abbildung, S. 19). Der hintere, allseitig sehr regelmäßig geschlossene Hohlraum, die Schädel- und Rückgratshöhle, dient zur Aufnahme des Gehirns und Rückenmarks; der vordere, viel weniger regelmäßig geschlossene Hohlraum, der sich in Gesichtshöhle, Brustkorb und Unterleibshöhle gliedert, nimmt, außer einigen Sinnesorganen, die „Eingeweide“ des Gesichts,

des Halses, der Brust und des Unterleibes in sich auf. Die Körper der Wirbel bilden auf eine lange Strecke die Vereinigung der Wandungen beider knöcherner Haupthöhlen des Rumpfes.

Das Knochengerüst des menschlichen Kopfes wird, abgesehen von den 32 Zähnen, den 6, resp. 8 Gehörknöchelchen und dem Zungenbein, aus 22 Knochen gebildet, welche die Größe und Konfiguration des Kopfes bedingen. Nur ein einziger dieser Knochen, der Unterkiefer, ist mit dem übrigen Kopfskelet beweglich durch Gelenke verbunden, die übrigen teils flachen, teils unregelmäßig gestalteten Kopfknochen verbinden sich miteinander unbeweglich zur Bildung der Höhlungen für das Gehirn und die Sinnesorgane mit dem Oberkiefer. Im Hinblick darauf teilen wir den

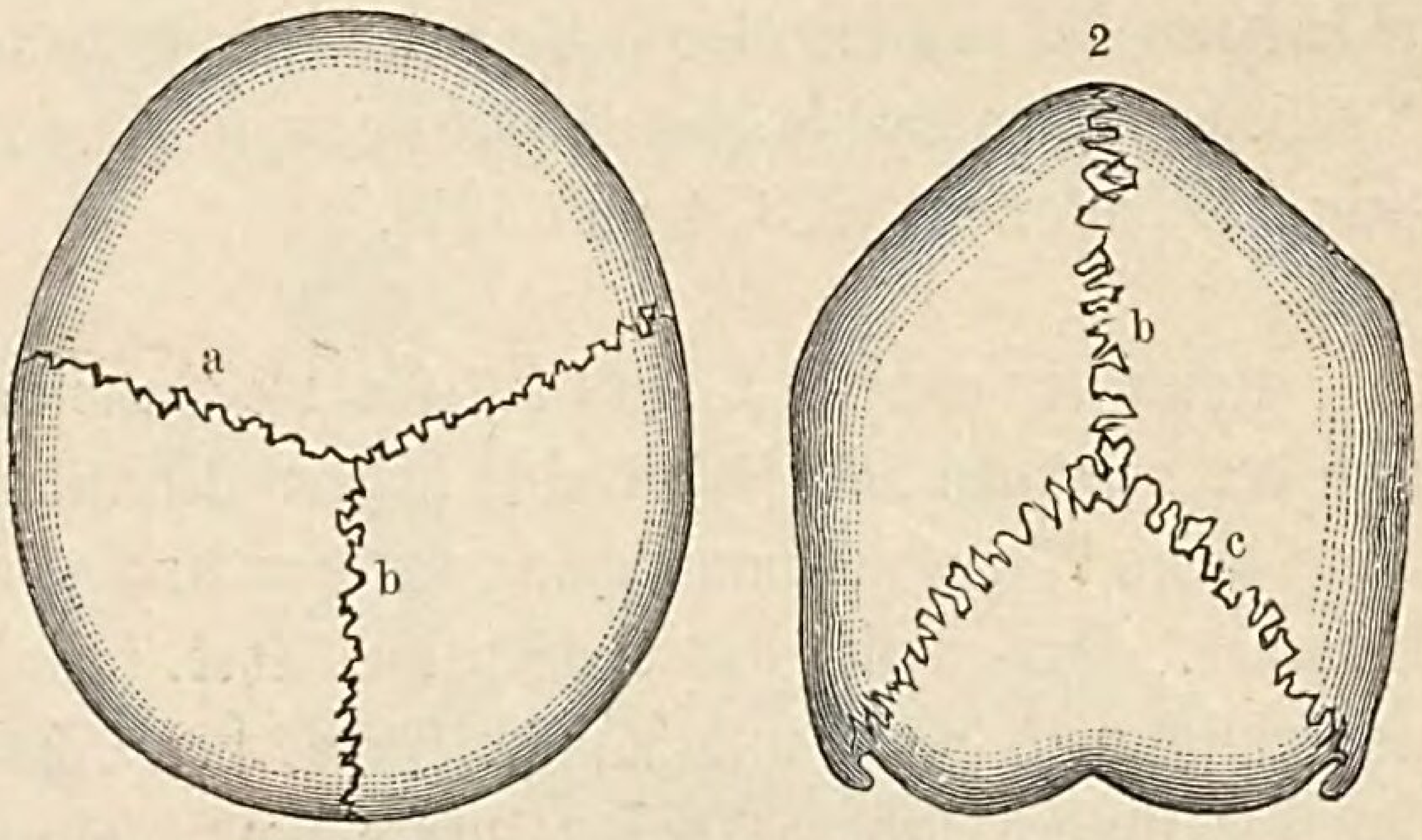


Gesprengter Schädel (nach Hartmann).
a) Hinterhauptsbein, b) Keilbein, c) Schläfenbein, d) Scheitelbein, e) Stirnbein, f) Siebbein, g) Oberkieferbein, h) Jochbein, i) Gaumenbein, k) Thränenbein, l) Nasenbein, m) Unterkiefer.

knöchernen Kopf in den Gehirnteil (den Gehirnschädel oder Schädelkapsel, Cranium) und den Gesichtsteil des Schädels (Facies).

Das Knochengerüst des Kopfes besteht aus folgenden Knochen: 1 Stirnbein (Os frontis), 2 Scheitelbeine (Os parietale), 2 Schläfenbeine (Os temporum), 1 Hinterhauptsbein (Os occipitis), 1 Keilbein (Os sphenoideum), 1 Siebbein (Os ethmoideum), 2 Thränenbeine (Os lacrimale), 1 Pflugscharbein (Vomer), 2 freie Nasenmuscheln (Concha inferior), 2 Jochbeine (Os zygomaticum), 2 Oberkieferbeine (Maxilla), 2 Gaumenbeine (Os palatinum), 2 Nasenbeine (Os nasale), 1 Unterkiefer (Mandibula) (s. obenstehende Abbildung). Nur die zwei Scheitelbeine oder Seitenwandbeine und das Hinterhauptsbein gehören ausschließlich dem Gehirnschädel an; das Keilbein, die Schläfenbeine, das Stirnbein und das äußerlich nicht sichtbare Siebbein beteiligen sich an der Bildung der Schädelkapsel, aber außerdem auch an der Bildung des knöchernen Gesichtes; die übrigen genannten Kopfknochen gehören lediglich dem Gesichtsskelet an.

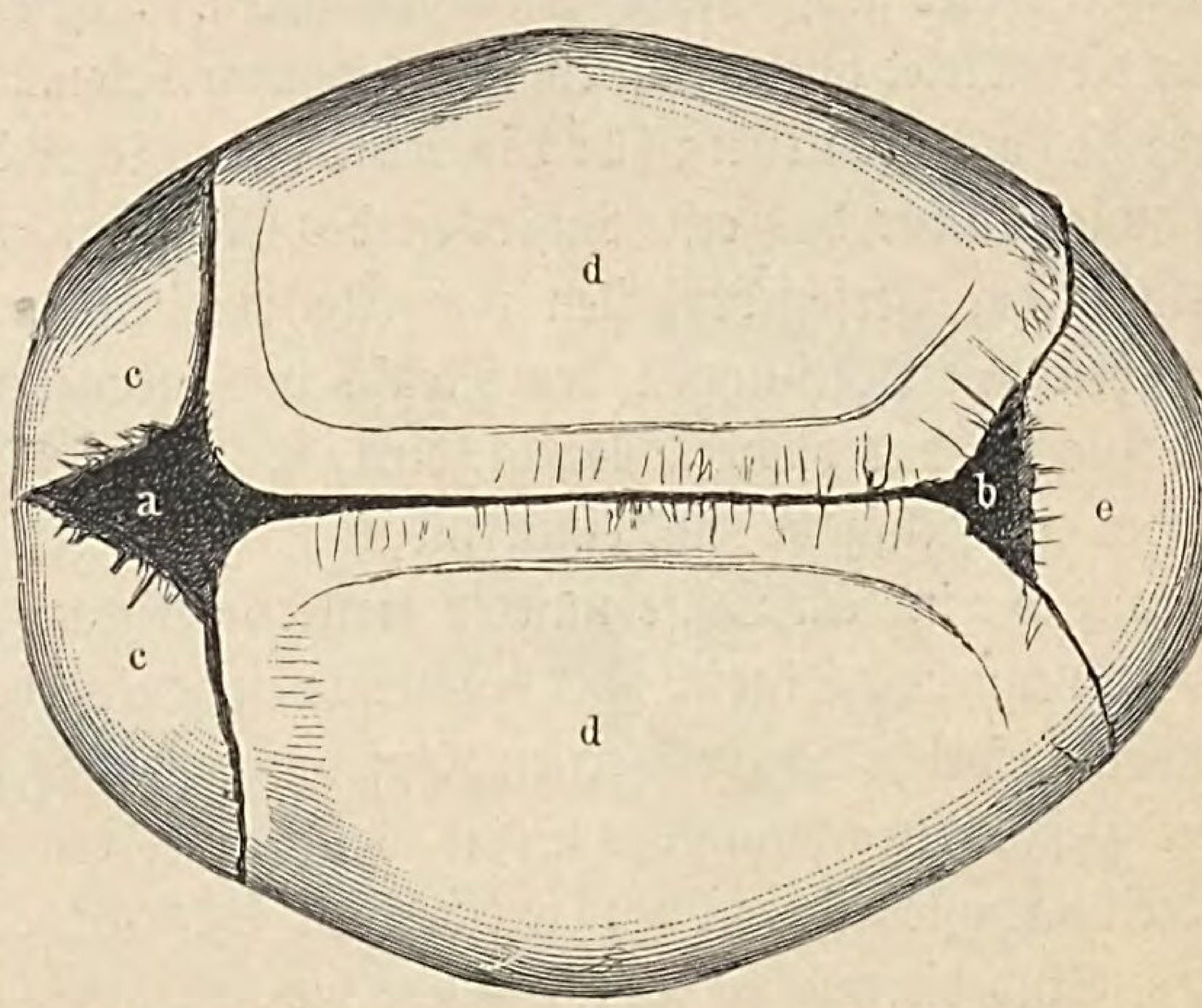
Die flachen Knochen der Schädelkapsel sind in sehr auffallender Weise durch Nähte miteinander vereinigt. Am bemerklichsten machen sich die Zahn- und Zackennähte, sie dienen wesentlich zur Charakterisierung der Schädelkapsel (s. untenstehende Abbildung). Wir unterscheiden die Kranz- oder Kronennaht (Sutura coronalis), welche, quer über den Schädel hinlaufend, das Stirnbein und die beiden Scheitelbeine verbindet; die Pfeilnaht (Sutura sagittalis), in der Mitte der Kranznaht senkrecht auf deren Richtung nach rückwärts sich wendend, bildet die Vereinigung der beiden Scheitelbeine in der Mittellinie des Schädeldaches; die Pfeilnaht trifft mit ihrem hinteren Ende auf die Mitte der Dreiecksnaht oder Lambdanaht (Sutura lambdoidea), welche, annähernd parallel mit der Kranznaht am Hinterhaupt zwischen den Scheitelbeinen und der Schuppe des Hinterhauptsbeines verlaufend, ihren Namen von ihrer Ähnlichkeit mit dem griechischen L, Lambda (Λ), erhalten hat.



Nähte der Schädelkapsel. 1) Ansicht von oben, 2) von hinten. a) Kranznaht, b) Pfeilnaht, c) Lambdanaht.

Die Schläfenbeinschuppe legt sich jederseits an das Scheitelbein in einer Schuppennaht (Sutura squamosa) an. Nicht selten findet sich auch bei Erwachsenen das Stirnbein durch eine mittlere, die Pfeilnaht über die Stirn fortsetzende Zackennaht, Stirnnaht (Sutura frontalis), in zwei seitliche Hälften getrennt. Eine Zackennaht ist auch die kurze Verbindung der oberen Ränder der Nasenbeine mit dem Nasenfortsatz des Stirnbeines, die Stirnbein-Nasennaht (Sutura nasofrontalis).

An dem noch unentwickelten Schädel fehlen noch eigentliche Nähte, und an den Stellen, an welchen, wie an dem Anfang und Ende der Pfeilnaht oder in der Schläfengegend, mehr als zwei Knochen zusammenstoßen, befinden sich noch bei dem Neugeborenen nur durch Hautbrücken gedeckte Lücken im Schädeldach. Derartige Lücken werden als Fontanellen bezeichnet. Die nebenstehende Abbildung macht ihre Lage und Bildung anschaulich. Außer den beiden in der Abbildung dargestellten Fontanellen finden sich am noch unentwickelten Schädel noch vier derartige häutige Verbindungen an den Seitenteilen des Schädels, je zwei auf jeder Seite. Wo in der Schläfengrube Stirnbein, Scheitelbein, großer Flügel des Keilbeines und Rand der Schläfenschuppe sich nachbarlich begegnen, liegt vor der vollkommenen Verknöcherung die Schläfenfontanelle. Zwischen der hinteren unteren Ecke des Scheitelbeines und dem Warzenteil des Schläfenbeines bemerken wir die Warzenfontanelle.



Schädel eines Neugebornen. Ansicht von oben.
a) Große Fontanelle, b) kleine Fontanelle, c c) Stirnbein, d d) Scheitelbeine, e) Hinterhauptsbein.

An dem Schädel als Ganzen unterscheidet man Vorderhaupt oder Stirngegend, dem das Hinterhaupt gegenübersteht; die Schläfengegend faßt die Schläfengrube als eine flache Ver-

tiefung in sich; der höchste Punkt der Schädelkapsel ist die Schädelhöhe, der Scheitel. Die Unterfläche des Gehirnschädels heißt Schädelbasis. Am Gesichtsskelet unterscheiden wir zunächst die Höhlungen für die Organe des Gesichtssinnes und Geruchssinnes, die Augenhöhlen (Orbita) und die durch eine knöcherne Scheidewand in zwei nebeneinander stehende Höhlungen oder Kammern getrennte Nasenhöhle; der gemeinschaftliche vordere Eingang der knöchernen Nasenhöhle ist die birnförmige Öffnung (Apertura pyriformis) der Nase, nach hinten öffnen sich die knöchernen Nasenhöhlen durch die knöchernen Choanenmündungen. Vom Gesicht spannt sich, wie der Bogen einer Brücke, der Jochbogen (Arcus zygomaticus) nach rückwärts zum Schläfenbein (s. Abbildung, S. 374 und 377).

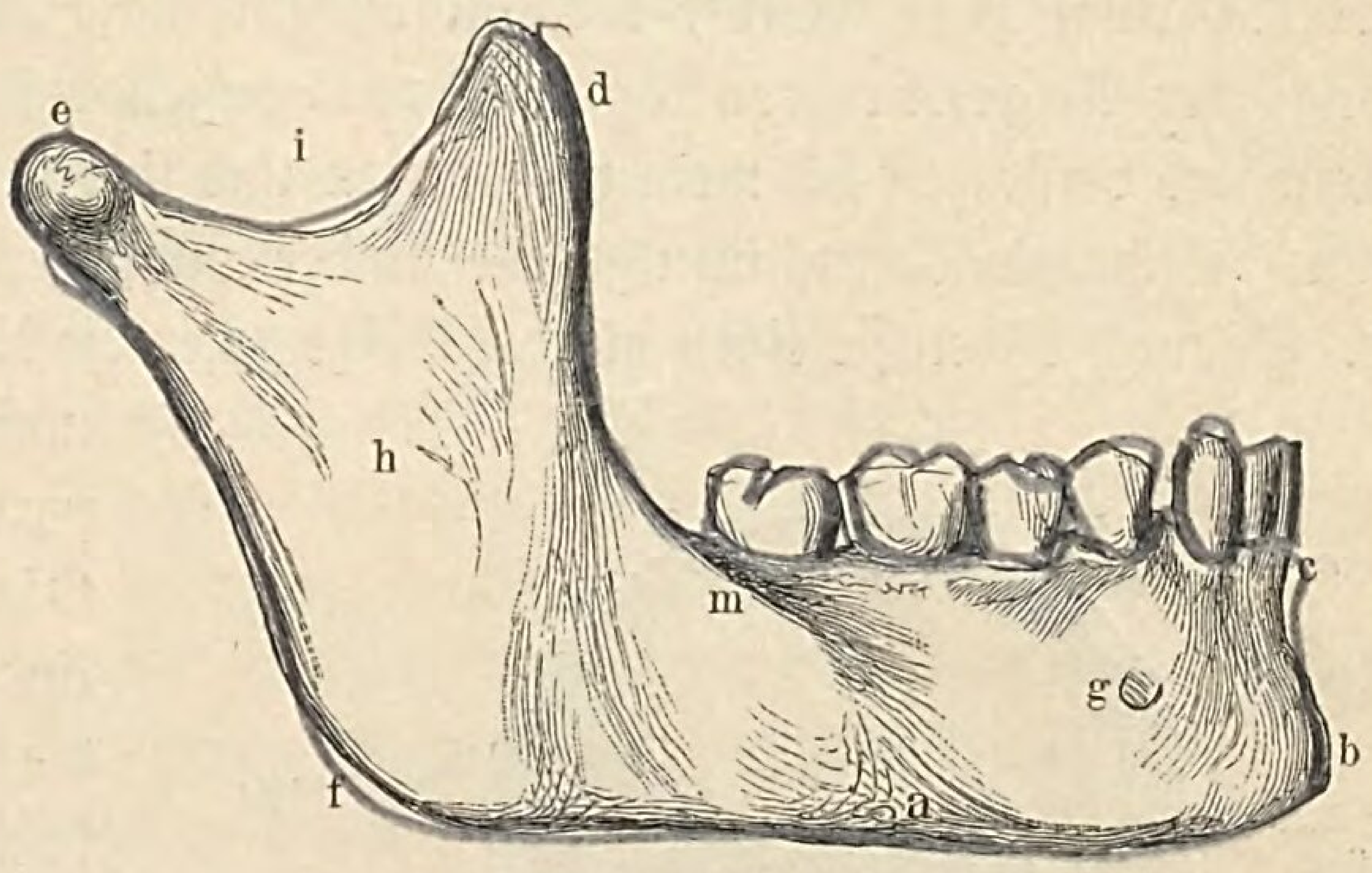
Kaum ein anderes Organ hat für die Entwickelung und das Leben des Einzelindividuums und der gesamten Menschheit eine höhere Bedeutung als der Schädel; steht doch seine Ausbildung in innigstem Zusammenhang mit der Ausbildung des Gehirns, des vor allem menschlichen Organes. Indem sich das Gehirn ausbildet, formt es zunächst nach seinen eignen Maßen seine anfänglich noch weiche und häutige Hülle, der Schädel wird uns danach ein Abdruck, gleichsam das Negativ des Gehirns, dessen äußere Bauverhältnisse an ihm etwa in derselben Weise erscheinen wie in dem vertieft geschnittenen Steine des Siegelringes die körperliche Form des in Wachs gedrückten Siegels. Noch nach Jahrhunderten und Jahrtausenden, wenn lange die übrigen Organe zerstört sind, gibt uns daher der Schädel ein treues Bild des lebenswichtigsten Organes, das er einst schützte, und das geschulte Auge des Forschers vermag auch die äußeren weichen Bildungen, die, um das knöcherne Gerüst liegend, einst das Gesicht und den ganzen Kopf formten, aus diesem Gerüst wieder größtenteils zu rekonstruieren. Dasselbe gelingt ihm für den Gesamtkörper, wenn nur das Skelet noch erhalten ist. Dadurch bekommen die Knochen und voran die Kopfknochen ihre hohe Bedeutung für die Naturgeschichte der Menschheit. Namentlich für die Untersuchungen über das erste Auftreten des Menschengeschlechts auf unserer Erde und für die Darstellung der Verschiedenheiten und Ähnlichkeiten im Körperbau zwischen Mensch und Tier und zwischen den Abteilungen des Menschengeschlechts in den verschiedenen Teilen der Erde bilden die Knochen das hauptsächlichste, durch nichts zu ersetzende Forschungsmaterial. Daher muß es unsere erste Aufgabe sein, einen möglichst genauen Einblick in den Bau des Skelets zu gewinnen, worauf wir in dem Laufe unserer weiteren Betrachtungen überall wieder zurückzugreifen haben.

Wenn das Studium der Anatomie einer eingehenden Beschreibung bedarf von den einzelnen Knochen, welche den knöchernen Kopf aufbauen, so genügt hier für unsere beschränkteren Zwecke eine Gesamtbetrachtung des Schädels als eines Ganzen. Wir haben dabei Gelegenheit, auch den Anteil darzustellen, welchen die einzelnen Schädelknochen an dem Schädelbau besitzen.

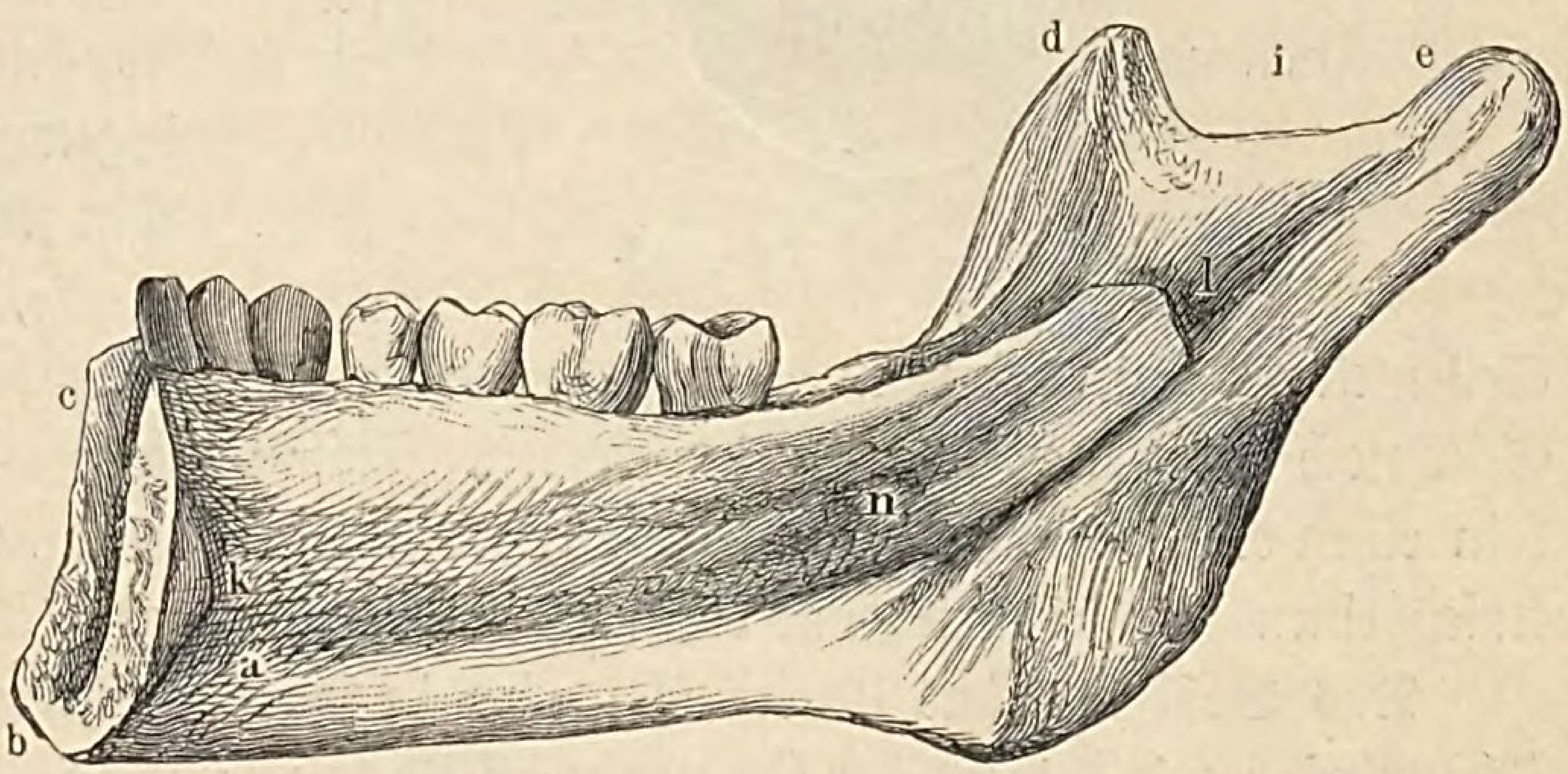
Sind die weichen Teile, welche die Kopfknochen der Lebenden umhüllten, nicht mehr vorhanden, so trennt sich der Unterkiefer von dem Hauptteil des knöchernen Kopfgerüstes ab, da er mit diesem nur durch die Kiefergelenke verbunden ist. Betrachten wir den Unterkiefer zuerst für sich. Der Unterkiefer bildet die Stütze des unteren beweglichen Abschnittes des Gesichts, man pflegt an ihm einen Körper und zwei aufsteigende Äste zu unterscheiden. Der Körper ist das gekrümmte Mittelstück des Knochens, in dessen oberem Rande, dem Alveolarrande, wie die Nägel in der Wand, jeder in einer eignen, äußerlich durch eine geringe Auftreibung sichtbaren Höhlung, Alveole, zur Aufnahme der Zahnwurzel die 16 Zähne (bei dem Erwachsenen) stecken. Das Kinn (Mentum) steht, breiter oder mehr zugespitzt, als Mittelstück des unteren Randes deutlich hervor, in seiner Mitte macht sich auf der Außenfläche eine Hervorragung, der Kinnhöcker (Spina mentalis externa), bemerklich, der auf der Innenfläche einer anderen kleineren und schärferen Erhebung, dem Kinnstachel (Spina mentalis interna), entspricht. An den beiden hinteren Enden

des Körpers steigen die Äste, winkelig vom Körper abgebogen, in die Höhe. Der obere Rand jedes Astes ist halbmondförmig ausgeschnitten, dadurch entsteht hier eine vordere und hintere Ecke. Die vordere, der Kronenfortsatz, ist flach und zugespitzt, die hintere Ecke, der Gelenkfortsatz, trägt auf einem verschmächtigten Halse ein rundliches, quer-ovales Köpfchen, den Gelenkkopf für das Kiefergelenk, welchem unter dem hinteren Ende des Jochbogens an der Unterfläche des Schädels, der Schädelbasis, beiderseits eine eingetiefte Gelenkgrube entspricht (s. untenstehende Abbildungen).

Betrachten wir den knöchernen Kopf ohne Unterkiefer, so erscheint der Gesichtsteil, welcher bei der Betrachtung des lebenden Menschen einen überwiegenden Anteil an der Kopfbildung zu besitzen scheint, an dem Knochengerüst des Kopfes nur als ein vergleichsweise kleiner Anhang unter der Vorderhälfte des Gehirnschädels (s. Abbildung, S. 377 u. 380). Der Gehirnschädel, die Schädelkapsel für das Gehirn, bildet weitaus den massigeren und größeren Teil des knöchernen Kopfes. Der Name Schädelkapsel ist vortrefflich gewählt. Die entsprechend gebogenen flachen Knochen und Knochenteile, welche sie zusammensetzen: Stirnbein, Scheitelbeine, Schuppe des Schläfenbeines und Schuppe des Hinterhauptsbeines und in der Schläfengrube zwischen dem vorderen Rande der Schläfenschuppe und dem Ende des Hinterrandes des Stirnbeines der große Flügel des Keilbeines, wölben sich an den Seitenteilen und oben zu einer mehr oder weniger kugelig geformten Kapsel, die jenen mächtigen Hohlraum begrenzt, welcher im Leben das Gehirn beherbergt. Der untere Teil der Schädelkapsel, die Schädelbasis, ist der Gehirnform entsprechend mehr flach und wird von unregelmäßiger gestalteten Knochenstücken begrenzt, von denen der Gelenkabschnitt und Körper des Hinterhauptsbeines, das Felsenbein des Schläfenbeines, der Körper des Keilbeines bei Betrachtung der Unterfläche hinter dem knöchernen Gesichtsteil bemerkbar werden. Der vordere, von dem Gesicht verdeckte Abschnitt der Schädelbasis wird von dem oberen Dache der beiden Augenhöhlen, welches vom Stirnbein jederseits geformt wird, und in der Mitte vom Siebbein gebildet.



Unterkiefer, Außenseite.
a) Körper, b) Kinn, c) Zahn- oder Alveolarrand, d) Kronenfortsatz, e) Gelenkfortsatz, f) Unterkieferwinkel, g) Foramen mentale, h) rechter Ast, i) halbmondförmiger Ausschnitt, m) Linea obliqua.

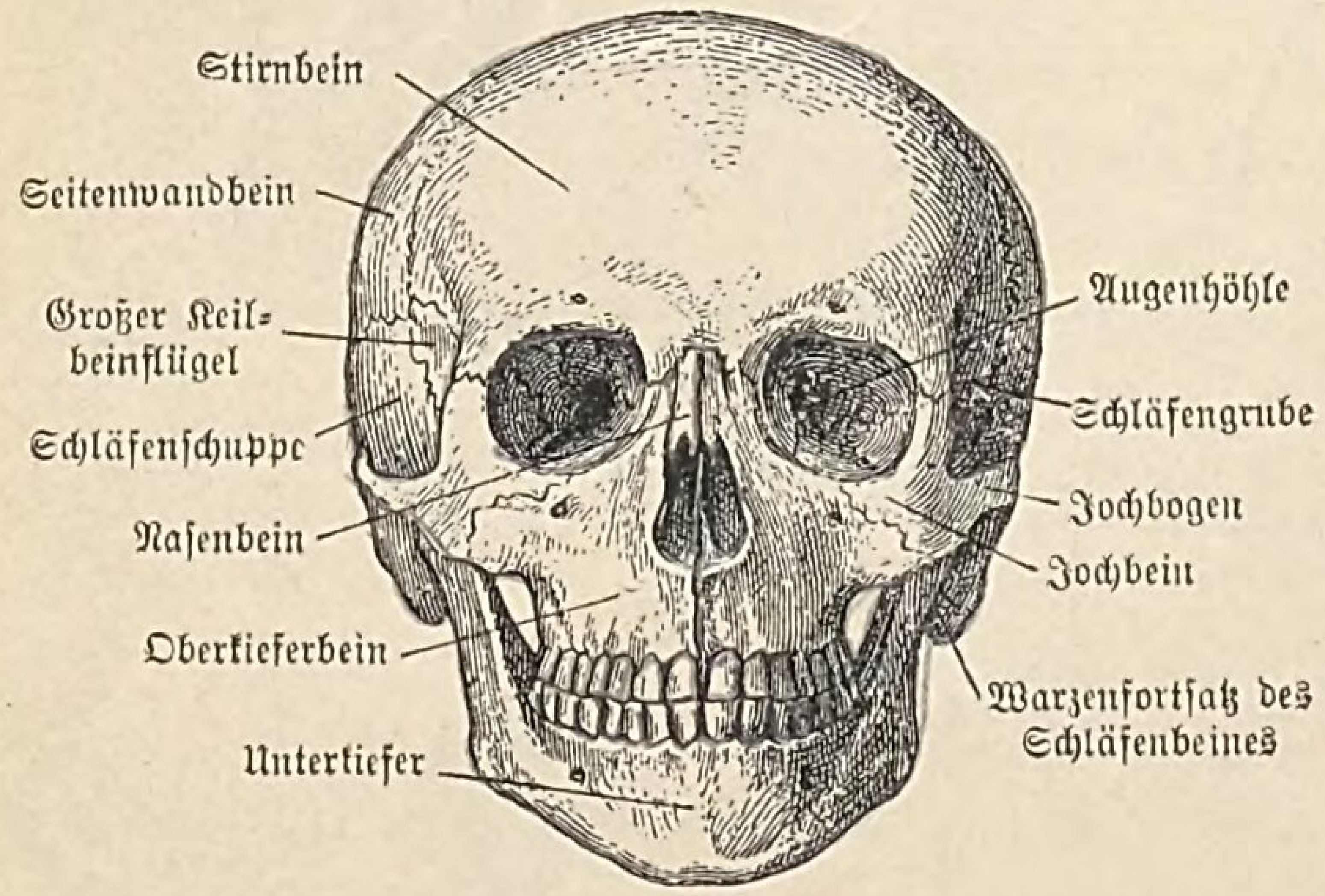


Unterkiefer, Innenseite. i) halbmondförmiger Ausschnitt, k) innerer Kinnstachel, l) Alveolarloch (Foramen alveolare), n) Linea mylohyoidea.

Stirnansicht (Norma frontalis). — Beginnen wir mit dem kompliziertesten Teile unserer Aufgabe, mit der Betrachtung des knöchernen Kopfes von vorn; diese Ansicht wird als Stirnansicht bezeichnet. Von dem Gehirnschädel sehen wir die Stirn, welche die obere Hälfte der Ansicht bildet, und unter ihr das Gesicht mit seinen großen Höhlen für das Seh- und Geruchsorgan,

die untere Grenze bildet die Bogenreihe der 16 Zähne in dem Alveolarrande des Oberkiefers (s. untenstehende Abbildung).

Die Stirn wird allein von dem in seiner Gestalt an eine Muschelschale erinnernden Stirnbein gebildet, welches, wie gesagt, manchmal durch eine die Pfeilnaht gleichsam verlängernde Zackennaht, die Stirnnaht, in zwei seitliche Hälften getrennt wird. Jede seitliche Stirnbeinhälfte zeigt etwa in ihrer Mitte, als eine mehr oder weniger deutlich abgegrenzte Auswölbung, den Stirnhöcker (Tuber frontale); die Stirnhöcker entsprechen den beiden Verknöcherungspunkten des Stirnbeines. In einiger Entfernung unter jedem der beiden Stirnhöcker, näher an dem oberen Augenhöhlenrande, verläuft oft eine nach oben konvexe, bogenförmige Knochenerhebung, der Augenbrauenbogen (Arcus supraorbitalis). Die Augenbrauenbogen verschmälern und verflachen sich meist nach außen und sind innen breiter und höher, wo sie oft als zwei stark gekrümmte Bogenlinien gegeneinander und gegen die Stirnbein-Nasenbeinnaht herablaufen. Dadurch bilden sie einen mit der Spitze gegen die Nase gewendeten Winkel und begrenzen nach unten und seitlich eine kleine Stirnpartie, welche den Namen Stirnglatze, Glabella, führt. Häufig, namentlich an kindlichen und weiblichen Schädeln, fehlen die Augenbrauenbogen, und dafür erscheint dann oft die „Glabella" etwas konvex vorgewölbt als Stirn-Nasenwulst. Die scharf hervortretenden oberen Augenhöhlenränder laufen nach abwärts und außen, auf der rechten und linken Kopfseite in den stumpfen, sich dem Jochbogen anschließenden Wangenfortsatz aus. Von jedem Wangenfortsatz steigt eine oft scharfe, nach vorn konvexe Kante gegen den Seitenteil des Stirnbeines in die Höhe, deren Verlauf wir bei der Betrachtung des Kopfes von der Seite noch näher zu verfolgen haben werden. Zwischen den beiden Augenhöhlen sendet das Stirnbein einen relativ breiten Fortsatz herab, seinen Nasenfortsatz (Processus nasalis), der mit den Nasenbeinen und jederseits mit einem Fortsatz des Oberkieferknochens in Nahtverbindung tritt.



Stirnansicht des Schädels.

Das Gesicht (ohne Unterkiefer) wird in seinen mittleren Partien vorwiegend von dem Oberkiefer gebildet, welcher sich aus zwei seitlichen symmetrischen Hälften, den beiden Oberkieferknochen, zusammensetzt. Jeder der beiden Oberkieferknochen beteiligt sich an der Bildung einer Augenhöhle, der Nasenhöhle und des Jochbogens. Die Oberkieferknochen bilden die vordere Gesichtsfläche, den oberen Zahnrand, Alveolarrand, und der Hauptsache nach den knöchernen Gaumen. Ein nach aufwärts gewendeter Fortsatz des Oberkieferknochens, dessen äußerer Rand den unteren Abschnitt des Innenrandes der Augenhöhle bildet, steigt jederseits als Nasenfortsatz des Oberkiefers gegen den Nasenfortsatz des Stirnbeines (Processus nasofrontalis) in die Höhe und verbindet sich mit dem Stirnbein durch eine kurze Zackennaht. Die beiden Nasenfortsätze der Oberkiefer fassen die beiden Nasenbeine zwischen sich. Die Nasenbeine sind zwei flache und schmale, meist dachförmig zusammengeneigte Knochen, welche den knöchernen Teil des Nasenrückens bilden und sich mittels einer kurzen, quer verlaufenden Zackennaht, der Stirn-Nasennaht, mit dem Nasenfortsatz des Stirnbeines verbinden. Ihre unteren Ränder bilden den oberen Teil der weiten knöchernen Nasenhöhle, welche von ihrer oben schmalen, nach unten sich verbreiternden und abrundenden Gestalt den oben schon genannten Namen „birnförmige Öffnung" erhalten hat.

Ihre mittleren und unteren Randteile, welche sich unten in der Mitte zu dem Nasenstachel (Spina nasalis anterior) erheben, werden beiderseits von dem Oberkieferknochen gebildet. Auch jeder Oberkieferknochen sendet, wie das Stirnbein, einen seitlich und nach außen gewendeten Fortsatz zur Bildung des Jochbogens. Die unter der Öffnung der knöchernen Nase gelegenen, die Zähne tragenden Partien des Oberkiefers werden als Zahnhöhlenfortsatz, Alveolarfortsatz, bezeichnet. Jede Hälfte des Oberkiefers hat acht Zahnhöhlen, Alveolen, welche die Wurzeln ebenso vieler Zähne aufnehmen und schon äußerlich durch Auftreibungen der Knochenoberfläche bemerklich werden. Entfernen wir die Zähne, oder denken wir sie uns entfernt, so bleibt ein freier unterer Knochenrand des Oberkiefers, welcher uns als Zahnhöhlenrand oder Alveolarrand für die zoologische und ethnologische Untersuchung des knöchernen Kopfes von Wichtigkeit ist. Die Oberkieferknochen beteiligen sich auch in Verbindung mit den Gaumenbeinen an der Bildung des knöchernen Gaumens (Palatum durum), der die oft durch eine nahezu geradlinige Kreuznaht getrennte Knochenwand darstellt, welche Nasenhöhle und Mundhöhle scheidet. Fast ebenso häufig bilden aber die Nähte zwischen den beiden Gaumenplatten der Oberkiefer und den beiden Gaumenbeinplatten kein rechtwinkeliges Kreuz, sondern es wölbt sich die Quernaht nach vorwärts konvex aus oder springt seltener nach hinten in der Mitte winkelig ein. Das die Schneidezähne tragende Stück der beiden Oberkieferknochen wird als Zwischenkiefer (Os intermaxillare) bezeichnet, da es ursprünglich auch beim Menschen auf jeder Seite als ein eigner Knochen angelegt ist.

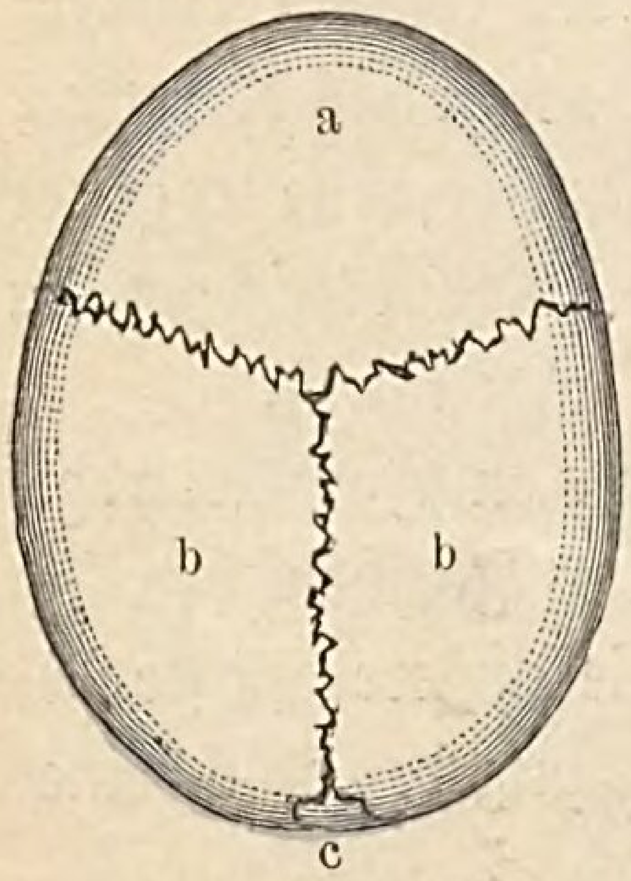
Die Seitenpartien der Stirnansicht des Gesichts werden jederseits von dem Jochbein gebildet, welches den größten und vorderen Teil des Jochbogens herstellt. Das Jochbein beteiligt sich überdies an dem Bau der Augenhöhle, deren seitlicher Rand sowie die äußere Hälfte des Unterrandes dem Jochbein angehören. Die größere oder geringere Ausbildung des Jochbeines ist für die Breite des Gesichts entscheidend.

Werfen wir noch einen Blick auf die großen Höhlen des Gesichts, zu deren Bildung äußerlich die bisher genannten, im Inneren noch einige andere Knochen Verwendung finden. Die Augenhöhlen (Orbita) des Menschen werden als zwei liegende hohle, vierseitige Pyramiden beschrieben und stellen den Raum her zur Aufnahme der Augen, der mit diesen verbundenen und sie bewegenden Muskeln sowie ihrer Blutgefäße, Nerven, der Thränendrüsen und des Fettpolsters, auf dem die Augen ruhen. An der Spitze jeder der pyramidalen Hohlräume befindet sich eine ziemlich weite Öffnung, das Sehloch (Foramen opticum), durch welches der Sehnerv aus der Schädelhöhle in das Auge sich begibt. Von den Augenhöhlenrändern wird der obere und noch ein Teil des inneren Abschnittes von dem Stirnbein, der größte Teil des inneren Randes und die innere Hälfte des Unterrandes wird von dem Oberkieferknochen, der äußere Rand und die äußere Hälfte des Unterrandes von dem Jochbein gebildet. In der Augenhöhle, direkt neben dem Nasenfortsatz des Oberkiefers, liegt das Thränenbein, daneben, weiter nach innen gegen das Sehloch zu, bildet die Innenwand der Augenhöhle die Papierplatte des Siebbeines (Lamina papyracea des Os ethmoideum), am Sehloch und nach außen von demselben beteiligt sich auch das Keilbein an der Bildung der Augenhöhlenwand.

Die knöcherne Nasenhöhle (Cavitas nasi), welche durch die mit vielfachen feinen Poren durchlöcherte Platte des Siebbeines von der Schädelhöhle geschieden wird und sich nach hinten durch die Choanen (Choanae), die hinteren Nasenöffnungen, in die Mundhöhle, d. h. in den Rachen, öffnet, zerfällt durch eine Scheidewand, die oben vom Siebbein (als Lamina perpendicularis desselben) und unten von dem Pflugscharbein (Vomer) gemeinschaftlich gebildete knöcherne Nasenscheidewand (Septum narium osseum), in zwei Hälften. Von der rechten und linken Seitenwand der Nasenhöhle gehen je drei von oben nach unten an Größe zunehmende, muschelförmig gekrümmte Knochenvorsprünge aus, die Nasenmuscheln (Conchae), von denen die unteren

als selbständiger Knochen (s. S. 370), die beiden oberen aber als zum Siebbein gehörig betrachtet werden. Mit der Nasenhöhle stehen noch einige Hohlräume in Verbindung, welche im Inneren der die Nasenhöhle begrenzenden Knochen liegen: die Keilbeinhöhlen, die Siebbeinzellen, die Oberkieferhöhlen und die Stirnhöhlen. Die letzteren befinden sich in dem an die Nase grenzenden Teile des Stirnbeines, hinter den Augenbrauenbogen oder dem Stirn-Nasenwulst, und die stärkere oder geringere Vorwölbung der Augenbrauenbogen oder des Stirn-Nasenwulstes bezieht sich vorwiegend auf eine stärkere oder geringere Ausbildung der Stirnhöhlen.

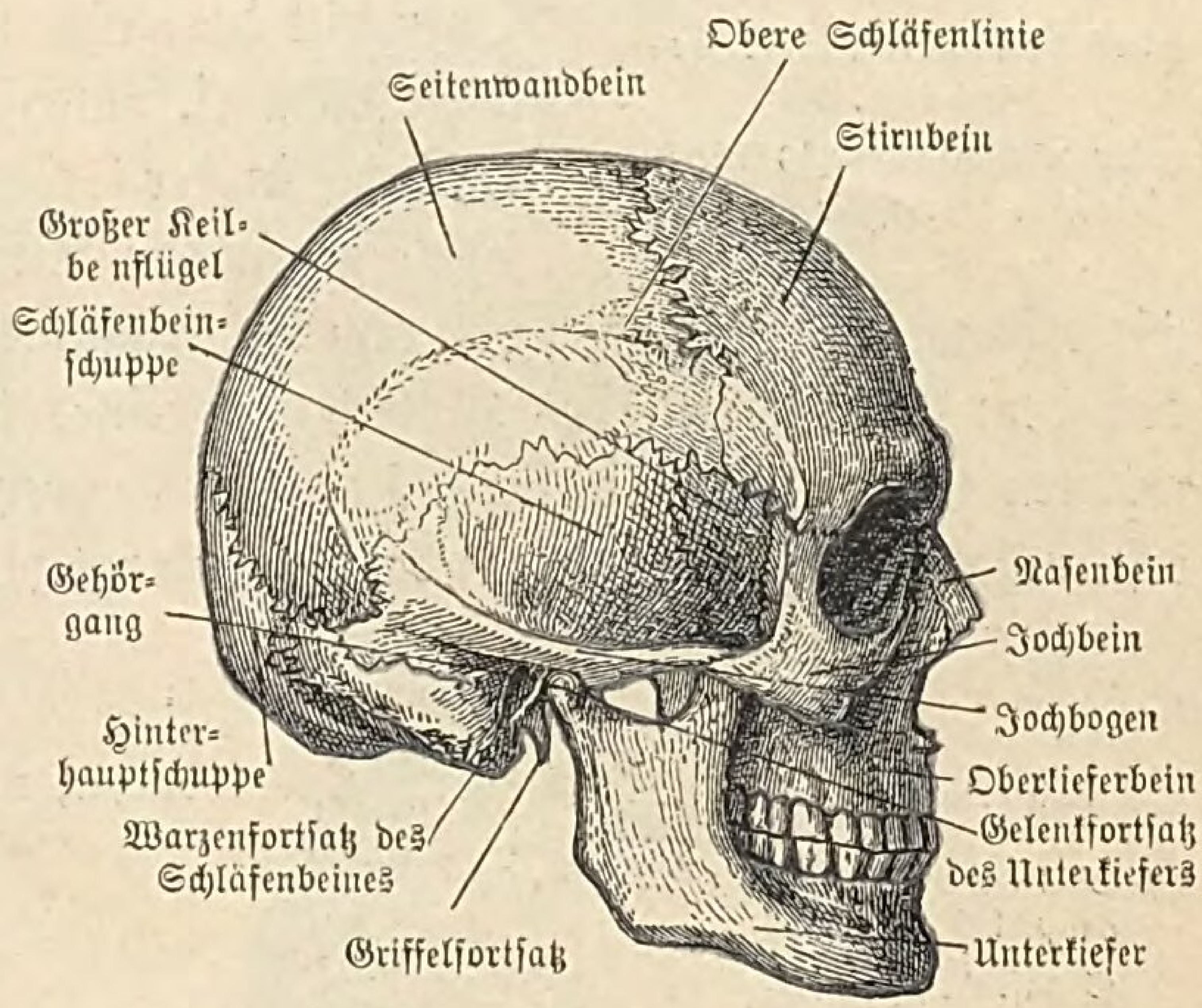
Scheitelansicht (Norma verticalis). — So verwickelt das Bild der Stirnansicht erscheint, so relativ einfach ist das Bild der Scheitelansicht des knöchernen Kopfes (s. untenstehende Abbildung). Stellen wir uns den Kopf so auf, daß wir senkrecht auf seine Scheiteloberfläche herabsehen, so bemerken wir in der Mehrzahl der Fälle nichts weiter als die vier schalenförmig gekrümmten Knochen, welche die Kuppel des Schädelgewölbes formen: Stirnbein, Scheitelbeine und die Schuppe des Hinterhauptsbeines. Der Stirnteil der Scheitelansicht wird von dem nach rückwärts gebogenen Abschnitt des Stirnbeines gebildet, die mittleren Partien und die Höhe des Kuppelgewölbes, dessen höchster Punkt als Scheitel (Vertex) bezeichnet wird, stellen die beiden Scheitelbeine oder Seitenwandbeine her; nach hinten schließt die dreieckige Spitze der Hinterhauptschuppe das Bild ab. In der Scheitelansicht treten die drei hauptsächlichsten Zackennähte: Kranznaht, Pfeilnaht und Lambdanaht, besonders auffällig hervor. Nicht selten werden in der Scheitelansicht die beiden Jochbogen und die vorderen Ränder der Nasenbeine bemerklich.



Scheitelansicht des Schädels. a) Stirnbein, b) Scheitelbeine, c) Hinterhauptsbein.

Schläfenansicht (Norma temporalis). — Die seitliche Ansicht des Schädels (s. Abbildung, S. 377) gibt uns vor allem über die Bildung der Schläfengegend Aufschluß und wird daher Schläfenansicht genannt; sie zeigt uns in einem Bilde die Mehrzahl der Knochen des ganzen Schädels und zwar seines Gehirnteiles wie seines Gesichtsteiles. Beginnen wir die Betrachtung mit den Knochen der Schädelkapsel, so erkennen wir am weitesten nach vorn, über dem Gesicht, das Stirnbein, dessen individuell verschiedene Wölbung mit den hervortretenden Augenbrauenbogen sich in dieser Ansicht besonders deutlich zeigt. Durch das Ende der Kranznaht sehen wir den hinteren Stirnbeinrand von dem Scheitelbein abgetrennt, dessen zweiter Name, Seitenwandbein, sich hier rechtfertigt. Am weitesten nach hinten und unten schließt die in dieser Ansicht in nur geringer Ausdehnung sichtbare Schuppe des Hinterhauptsbeines, die Hinterhauptschuppe, die Schädelkapsel ab; wir bemerken den seitlichen Ast der Lambdanaht. Die unteren Mittelpartien der Schädelkapsel zeigen sich in der Schläfenansicht fast ausschließlich von dem Schläfenbein und zwar vorwiegend von dessen Schuppe (Squama ossis temporum) gebildet, nur vorn legt sich an den vorderen Rand der Schuppe noch zur Ergänzung des Verschlusses der Schädelkapsel der „große", aber ziemlich schmale Flügel des Keilbeines (Ala magna oder temporalis) an, dessen oberer Rand normal sowohl den Unterrand des Stirnbeines als den Unterrand des Seitenwandbeines berührt. An der Bildung der Schläfengrube erscheint vorzüglich der große Keilbeinflügel beteiligt. Der flache, mit seinem oberen Rande den größten Teil des unteren Randes des Seitenwandbeines deckende und dadurch die Schuppennaht bildende Abschnitt des Schläfenbeines ist die Schläfenbeinschuppe oder Schläfenschuppe. Von ihrem unteren Rande sehen wir einen nach vorwärts gerichteten und konvex nach außen gewendeten Fortsatz, den Jochfortsatz des Schläfenbeines, ausgehen, welcher sich durch eine Naht mit dem hinteren Rande des Jochbeines verbindet und dadurch wesentlich zur Bildung der Jochbogenbrücke beiträgt. Von dem oberen Rande des Jochbogens läuft eine mehr oder weniger scharfe kantenartige Erhebung, die Joch-

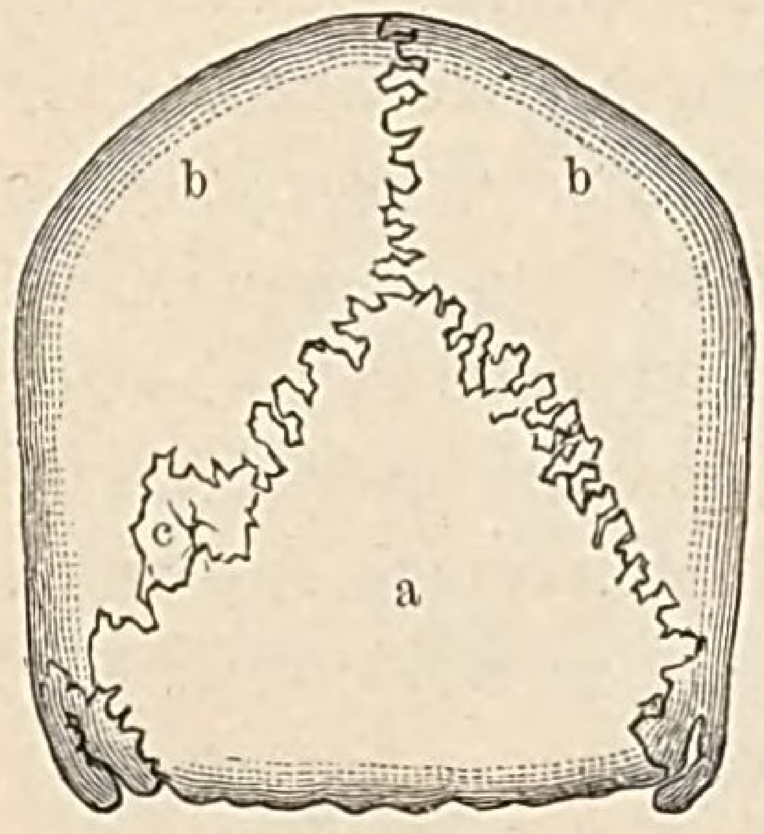
bogenleiste, quer bis an den hinteren Rand der Schläfenschuppe; unter dieser, am hintersten Ende des Jochbogens, findet sich eine ziemlich weite, senkrecht-ovale Öffnung, die Ohröffnung, der Eingang in den knöchernen Abschnitt des äußeren Gehörganges. Die Ohröffnung ist als Ausgangspunkt für Messungen des Schädels für uns einer der allerwichtigsten Punkte seiner ganzen Oberfläche. Hinter der Ohröffnung und, wie diese, unter der Jochbogenleiste ragt der dicke, zitzenförmige Warzenfortsatz (Processus mastoideus) des Schläfenbeines nach abwärts, der sich nach hinten mit dem Hinterhauptsbein und dem hinteren Ende des Unterrandes des Seitenwandbeines durch Zackennähte verbindet, von denen die Nahtverbindung zwischen ihm und dem Hinterhauptsbein den unteren Teil der Lambdanaht bildet. Hinter dem Warzenfortsatz steht der dünne, aber manchmal sehr lange Griffelfortsatz (Processus styloideus) vor. Von besonderer Wichtigkeit für die Charakterisierung des knöchernen Kopfes ist noch eine nach oben konvexe Bogenlinie, die obere halbkreisförmige Schläfenlinie (Linea semicircularis superior), welche die äußere Oberfläche des Seitenwandbeines in einen kleineren unteren Abschnitt und in einen größeren oberen Abschnitt teilt. Die obere Bogenlinie wird nach vorn vervollständigt durch jenen schon erwähnten, noch viel schärfer hervortretenden Bogen auf dem hinteren unteren Abschnitt der Oberfläche des Stirnbeines, der sich von der äußeren Kante des in der Stirnansicht beschriebenen Jochfortsatzes des Stirnbeines erhebt. Die obere Schläfenlinie entsteht durch den Ansatz des Schläfenmuskels, welcher der Bewegung des Unterkiefers dient. Der unter der oberen Schläfenlinie liegende Abschnitt der Seitenwand des Schädels nach unten bis zum Jochbogen wird als Schläfenfläche, ihr vorderer unterer, stärker eingetiefter Teil als Schläfengrube (Planum temporale oder Fossa temporum) bezeichnet. Über der Schläfenlinie, fast genau im Mittelpunkt der Fläche jedes der beiden Scheitelbeine, wölbt sich jedes Scheitelbein stärker zu dem Scheitelhöcker hervor. Die Scheitelhöcker sind, wie die Stirnhöcker, die primären Verknöcherungspunkte. Unter der oberen Schläfenlinie, enger, aber mit ihr annähernd parallel, verläuft eine untere Schläfenlinie, welche über dem Warzenfortsatz des Schläfenbeines mit einem nach hinten konvexen Bogen beginnt, welcher gleichsam als Fortsetzung der „Wurzel" des Jochbogens an dem Hinterrande der Schläfenschuppe sich meist als eine gebogene Leiste erhebt. Dieser Teil der unteren Schläfenlinie ist immer nachweisbar, der übrige Verlauf über den Unterrand des Scheitelbeines ist oft undeutlich.



Seitenansicht des Schädels. Vgl. Text, S. 376.

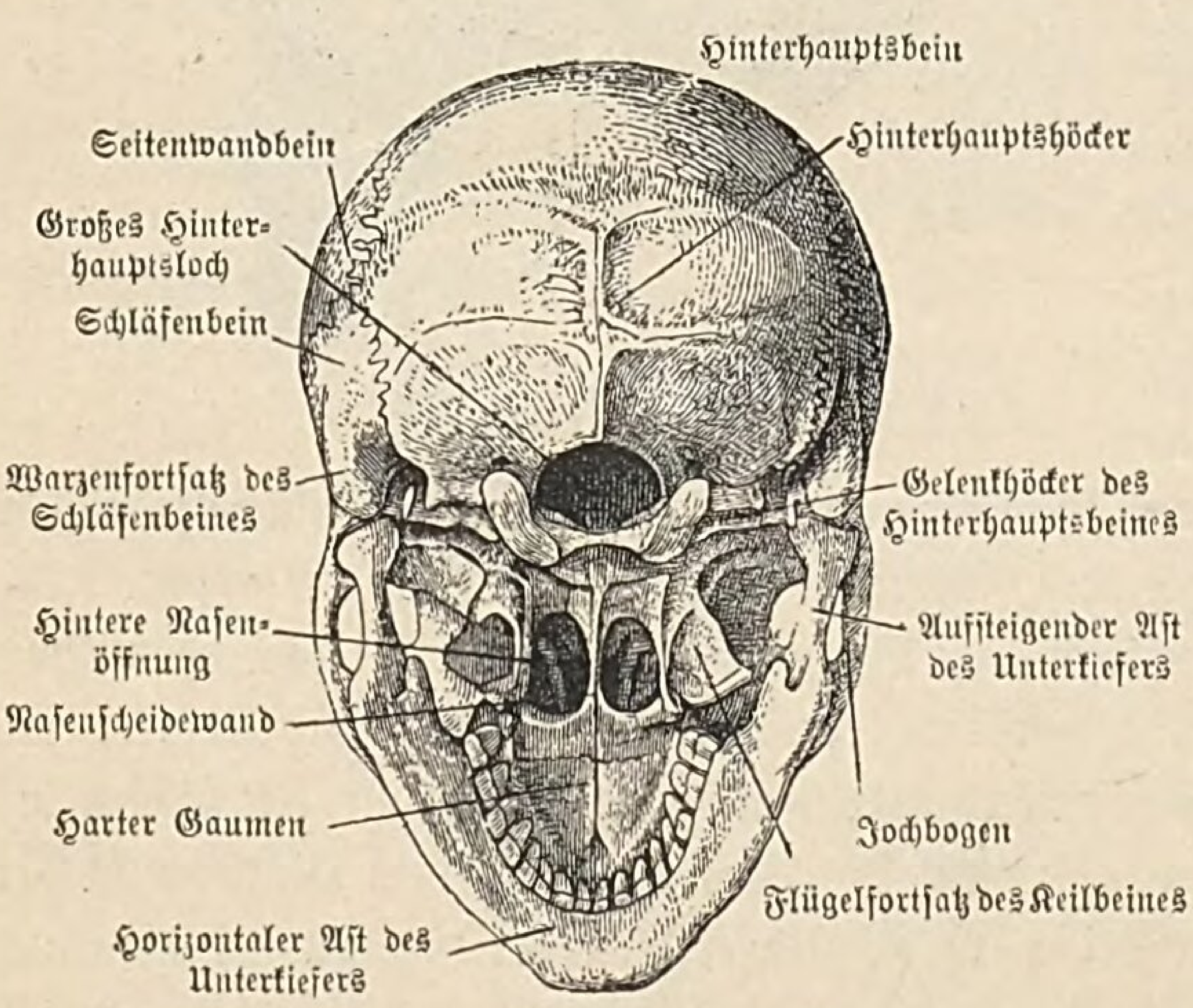
Hinterhauptsansicht (Norma occipitalis). — Bei der Ansicht des knöchernen Kopfes von hinten, der Hinterhauptsansicht des Schädels bekommen wir einen Anblick der ganzen dreieckigen, oben gewölbten Hinterhauptschuppe, welche mit ihrer Spitze das Ende der Pfeilnaht zwischen den beiden Seitenwandbeinen berührt (s. Abbildung, S. 378, oben). Dadurch stellt sich uns auch die Lambdanaht zwischen den Scheitelbeinen und der Hinterhauptschuppe in ihrer ganzen Ausdehnung dar. Die Naht ist meist sehr zackig, und einzelne ihrer Zacken trennen sich oft vollkommen von den übrigen Knochen durch Quernähte ab, als Wormsche Zwickelknochen (Ossa Wormiana). Rechts und links unten ragen die Warzenfortsätze der Schläfenbeine nach abwärts. Namentlich bei muskelstarken Männern zeigt die hintere Oberfläche der Schläfen-

schuppe starke Erhabenheiten. Ziemlich in der Mitte ragt als eine bald spitzere, bald stumpfere Erhabenheit der äußere Hinterhauptshöcker (Protuberantia occipitalis externa) hervor, senkrecht nach abwärts geht von ihm eine mehr oder weniger scharf vorspringende Linie als Hinterhauptsleiste (Crista occipitalis) herab bis zur Mitte des hinteren Randes des großen Hinterhauptsloches. Vom Hinterhauptshöcker aus geht jederseits eine schwache, bogenförmig gekrümmte Leiste, die oberste Nackenlinie (Linea nuchae suprema), quer nach der Seite herüber, also etwa senkrecht auf die Richtung der Hinterhauptsleisten; unter der obersten laufen dann, von der Hinterhauptsleiste ebenfalls quer abgehend, jederseits noch zwei andere bogenförmige Leisten, die mittlere und die untere Nackenlinie (Linea nuchae media und inferior), gegen die Lambdanaht zu gerichtet.



Hinterhauptsansicht des Schädels.
a) Hinterhauptschuppe, b) Scheitelbeine, c) Wormscher Knochen.

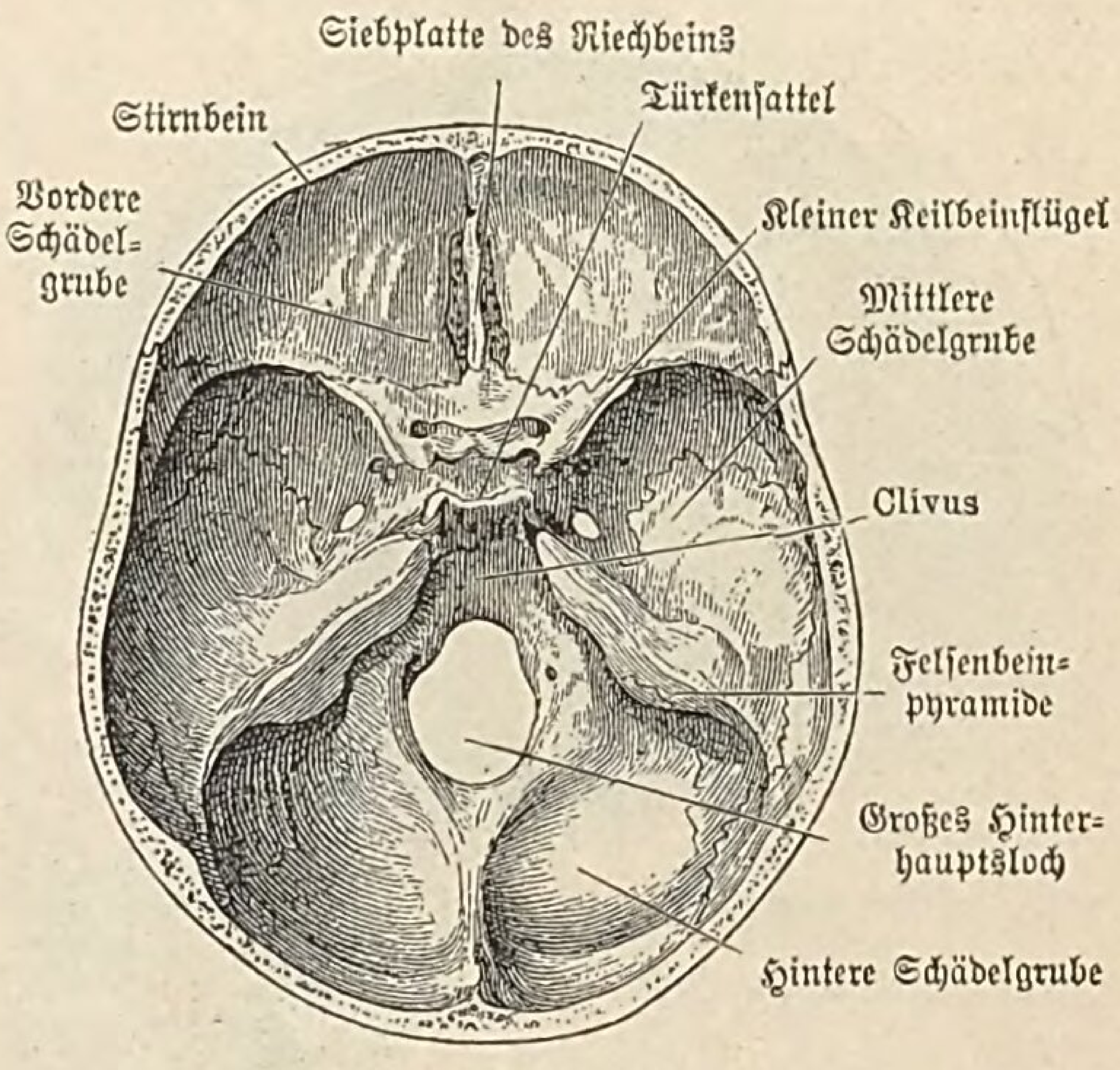
Basilaransicht (Norma basilaris). — Auf der Unterseite des Schädels, der äußeren Basilaransicht, fällt uns zuerst das große Hinterhauptsloch (Foramen magnum) in die Augen, das dem Durchtritt des Rückenmarks aus der Schädelhöhle in die Rückgratshöhle dient (s. untenstehende Abbildung). Die zentrale Lage dieser Öffnung in der Schädelbasis ist für den Menschenschädel im Unterschied gegen den Tierschädel eine in hohem Maße typische. Das Hinterhauptsloch wird ganz von dem Hinterhauptsbein gebildet. Sein hinterer Abschnitt zeigt sich von dem Schuppenteil des Hinterhauptsbeines begrenzt, nach vorn und seitlich liegen die gewölbten Gelenkvorsprünge (Processus condyloidei) zur beweglichen Verbindung mit dem ersten Halswirbel, dem Atlas; nach vorn ragt zapfenförmig der Körper oder Grundteil des Hinterhauptsbeines (Pars basilaris) bis zu dem Gesichtsteil des Kopfes vor. Hier verbindet sich durch eine Knorpelfuge, Keilbein-Hinterhauptsbeinfuge (Synchondrosis sphenooccipitalis), die vordere Fläche des Grundteiles mit der Hinterfläche des Keilbeinkörpers, mit welchem es normal nach dem 15. Lebensjahr verwächst, zu einem einzigen Knochen, der nach Virchow in seiner Gesamtheit als Grundbein (Os tribasilare) bezeichnet wird, und an welchem man dann, als Teile desselben Knochens, das Hinterhauptsbein als Hinterhauptstück des Grundbeines und das Keilbein als Keilstück des Grundbeines unterscheidet. An der äußeren Grundfläche des Schädels sehen wir von dem mit dem Grundteil, dem Körper des Hinterhauptsbeines verschmolzenen Körper des Keilbeines, sich nach abwärts den hinteren äußeren Rändern des Oberkiefers und den Gaumenbeinen anfügend, jederseits einen schmalen, kahnförmig ausgehöhlten Fortsatz, den Flügelfortsatz (Processus pterygoideus), laufen. Nach rechts und links wenden sich die großen Flügel des Keilbeines zu den Seitenteilen des Schädels in die Höhe. Zwei nach rückwärts gewendete Ecken des Knochens auf beiden Seiten des „Grundteiles des Hinterhauptsbeines" (Pars basilaris) bilden mit diesem die mittleren, vielfach für den Durchtritt von Blutgefäßen und Nerven durchbrochenen, teilweise mit Knorpelverschlüssen versehenen Abschnitte der Schädel-



Schädel von unten gesehen.

unterfläche. Seitlich wird die Schädelbasis noch durch die der Unterfläche des Schädels angehörenden Teile der beiden Schläfenbeine, durch die **Felsenbeine** oder **Schläfenbeinpyramiden** (Pars petrosa oder Pyramis), geschlossen. Sie füllen die weite Spalte aus, welche zwischen dem Hinterrande des Keilbeines und der Hinterhauptschuppe zu beiden Seiten des Grundteiles des Hinterhauptsbeines bleibt, und sind äußerlich durch die in ihnen befindliche **Ohröffnung** (Porus acusticus externus), Öffnung des knöchernen Gehörganges, leicht kenntlich.

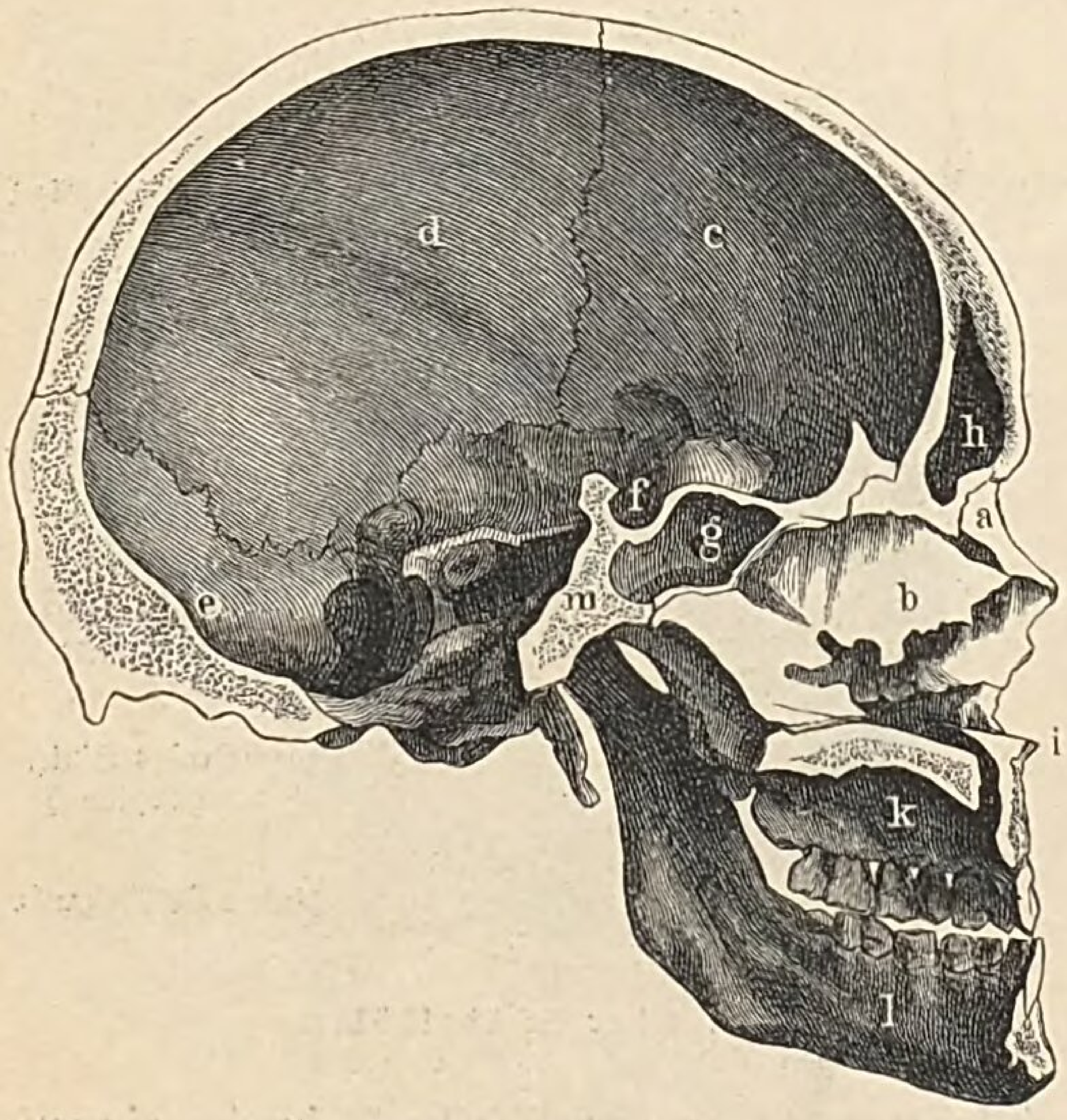
Durch einen über den Augenbrauenbogen beginnenden, horizontal den Schädel umkreisenden Schnitt mit der Knochensäge zerfällt der Schädel in einen oberen Abschnitt, die Schädeldecke, und in einen unteren Abschnitt, das Bodenstück des Schädels. Während die Innenfläche des Schädelgrundes eine reiche Modellierung erkennen läßt, sind an der **Innenfläche des Schädeldaches** für unseren speziellen Zweck nur wenige Einzelheiten zu bemerken. Zunächst ist es auffallend, daß die Schädelnähte auf der Innenfläche weniger zackig erscheinen als auf der Außenfläche, auch ihr Verlauf zeigt innen manche Verschiedenheiten gegen außen. Außer zahlreichen Ernährungslöchern zum Eintritt von Blutgefäßen in die Knochen zeigt die Innenseite des Schädeldaches wie die ganze Innenfläche der Schädelhöhle grubige, wie durch **Fingereindrücke** (Impressiones digitatae) erzeugte Aus- und Einbuchtungen, welche den Oberflächenwindungen des Gehirns entsprechen; noch mehr springen ins Auge schärfer markierte schmälere, verästelte Rinnen in der Richtung der im Inneren der Schädelhöhle verlaufenden Schlagadern. Von den übrigen anatomischen Einzelheiten erwähnen wir im folgenden nur das für uns Wichtigste. In die Mittellinie der Innenfläche des Stirnbeines läuft, gegen die Pfeilnaht gerichtet, eine schwach leistenartige Erhebung, die innere Stirnbeinleiste, welche an der Pfeilnaht in eine rinnenartige, unter der Pfeilnaht hinlaufende Vertiefung übergeht, die Längsfurche des Schädeldaches. Auf der Innenfläche der Schuppe des Hinterhauptsbeines bemerken wir in der Mittellinie den **inneren Hinterhauptshöcker** (Protuberantia occipitalis interna), der in seiner Lage dem äußeren Hinterhauptshöcker nicht entspricht. Von der Spitze der Hinterhauptschuppe über den inneren Hinterhauptshöcker weg zum Hinterrande des großen Hinterhauptsloches erstreckt sich eine vorspringende Knochenleiste, die innere Hinterhauptsleiste. Senkrecht auf die letztere, diese auf dem inneren Hinterhauptshöcker kreuzend, verlaufen parallel zwei nachbarlich nebeneinander herziehende und dadurch jederseits vom Kreuzungspunkt eine Rinne zwischen sich fassende leistenförmige Erhebungen, die Kreuzleiste (Linea cruciata). Diese Kreuzung der eben genannten Linien ist so auffällig, daß man nach ihr den inneren Hinterhauptshöcker oft auch als Kreuzhöcker bezeichnet. Das Schädeldach wird von dem Stirnteil des Stirnbeines, von den Seitenwandbeinen und der Spitze der Hinterhauptschuppe gebildet.



Basis der Schädelhöhle.

An der Bildung des „**inneren**“ **Schädelgrundes** (s. obenstehende Abbildung) beteiligen sich vorn die Augenhöhlenteile des Stirnbeines, welche die Siebplatte des Siebbeines (Lamina cribrosa) zwischen sich fassen. Darauf folgt nach rückwärts das Keilbein, dem seitlich die beiden Schläfenbeine sich anlegen. Die mittleren und hinteren Partien des inneren Schädelgrundes bildet das mit dem Keilbein verschmolzene Hinterhauptsbein.

Man unterscheidet an der Innenfläche des Schädelgrundes drei Schädelgruben, welche treppenförmig von der hinteren zur mittleren und von dieser zur vorderen aufsteigen. Den mittleren Abschnitt des Bodens der vorderen Schädelgrube, welche bei Normalstellung des Schädels im Vergleich mit den beiden anderen am höchsten liegt, bildet die Siebplatte des Siebbeines, die Seitenflächen rechts und links die Augenhöhlenteile des Stirnbeines. Die vielfach fein durchlöcherte Siebplatte des Siebbeines wird durch einen normal senkrecht stehenden, in der Längsrichtung verlaufenden Kamm, der sich vorn unter dem Namen Hahnenkamm (Crista galli) als ein flacher, in die Schädelhöhle aufragender Knochenfortsatz erhebt, in zwei seitliche Hälften geteilt. Die hintere, scharfrandige Begrenzung der vorderen Schädelgrube bilden jederseits die schwertförmigen oder „kleinen" Flügel des Keilbeines (Alae parvae). Direkt vor dem Hahnenkamm liegt das „blinde Loch" (Foramen coecum); hier beginnt jene in der Mittellinie der Innenfläche des Stirnteiles, des Stirnbeines, verlaufende, schon bei der Beschreibung des Schädeldaches erwähnte innere Stirnbeinleiste. Die Gestalt der mittleren Schädelgrube pflegt man mit einer liegenden ∞ zu vergleichen. Eigentlich besteht die Mittelgrube aus zwei durch eine mittlere Erhabenheit, den Türkensattel (Sella turcica oder Ephippium), getrennten Gruben; sie ist aus den Innenflächen des Keilbeinkörpers, den beiden großen Keilbeinflügeln und den Schläfenbeinen zusammengesetzt. Der innere obere Rand der Schläfenbeinpyramide grenzt jederseits vom Türkensattel die mittlere Schädelgrube von der hinteren Schädelgrube ab. Den Türkensattel bildet die obere innere Fläche des Keilbeinkörpers; seine Oberfläche ist hier sattelförmig ausgehöhlt; der sonderbare Name rechtfertigt sich, wenn wir das Gebilde mit einiger Phantasie betrachten. Die hintere Wand der sattelförmigen Aushöhlung steigt in einer nach vorn gewendeten Knochenplatte, Sattellehne (Dorsum ephippii), in die Höhe. Die Hinterfläche der Sattellehne geht direkt in die obere Fläche des Körpers oder Grundteiles des Hinterhauptsbeines über und formt mit ihr eine abschüssige Ebene, den Sattelberg, Clivus, dessen Senkungswinkel uns bei Vergleichung der Tier- und Rassenschädel noch beschäftigen wird.



Senkrechter Schädeldurchschnitt.

a) Nasenbein, b) Nasenscheidewand, c) Stirnbein, d) Scheitelbein, e) Hinterhauptsbein, f) Türkensattel, g) Höhle im Keilbein, h) Stirnhöhle, i) Nasenstachel, k) harter Gaumen, l) Unterkiefer, m) Clivus.

Die hintere Schädelgrube ist die größte und stellt eine rundlich ausgebauchte Vertiefung dar, hergestellt durch das Hinterhauptsbein und die hinteren Partien des Schläfenbeines. Durch die kreuzförmig sich schneidenden Erhabenheiten, welche wir an der Innenfläche der Schuppe des Hinterhauptsbeines beschrieben haben, werden vier seichte Gruben auf der letzteren abgegrenzt, von denen die beiden oberen die hinteren Enden des großen Gehirns, die beiden unteren die beiden Halbkugeln (Hemisphären) des kleinen Gehirns aufnehmen; man unterscheidet sie daher als Großhirn- und Kleinhirngruben.

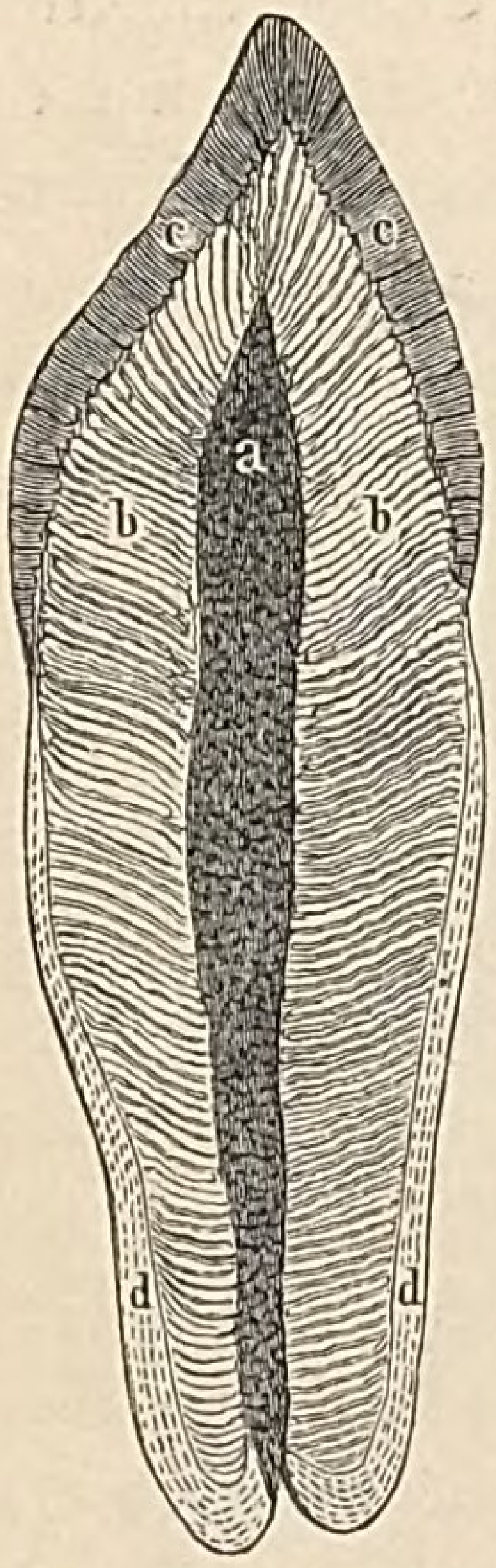
Ein senkrecht durch die mittlere Längslinie durchschnittener Schädel (s. obenstehende Abbildung) läßt die Skulptur der Innenflächen der Schädelknochen deutlich hervortreten, ebenso kommt die

charakteristische, aus früher Bildungsepoche stammende Schädelknickung, namentlich die Abknickung des Stirnteiles des Schädels gegen die übrigen Schädelpartien, welche sich uns in der treppenförmig aufsteigenden Aneinanderlagerung der Schädelgruben schon ausgesprochen hat, an solchen Durchschnitten mit Klarheit zur Anschauung. Wir haben bei der Beschreibung der Entwickelung des Gehirns die Abknickung des Stirnteiles vor der Bildung des Gesichts ausführlich beschrieben. Die Entwickelung des in dieser Periode noch häutigen Schädels schließt sich direkt an die Gehirnentwickelung an, der Schädel macht die Biegungen mit, welche das Gehirn erleidet. Die Knickung an der Schädelbasis, zwischen Siebbein, Keilbein und Hinterhauptsbein, welche sich namentlich in der Neigung des Clivus, der schief abfallenden Sattelbergebene, zu den Nachbargebilden ausspricht, bezeichnete Virchow als Sattelwinkel, dessen Neigung den Menschenschädel vom Tierschädel wesentlich auszeichnet. Wie das Gehirn modellierend auf den Schädel einwirkt, so zeigt auch der Schädel in gewissen Beziehungen formende Einwirkungen auf das Gehirn, und er selbst wird wieder von der ihn teilweise umgebenden Muskulatur, namentlich Kau- und Hinterhauptsmuskulatur, in der Zeit nach der Geburt und auch noch in späteren Lebensjahren in seiner Modellierung beeinflußt. Ein nicht unwesentlicher Teil der Unterschiede, welche wir zwischen männlichem und weiblichem Schädel bestehen sehen, beruht im Grunde auf quantitativ verschiedenen Einwirkungen der Muskulatur auf die Schädelknochen.

Verknöcherung des Schädels. — Im zweiten Monat der menschlichen Fruchtentwickelung wird zunächst an dem bis dahin noch häutigen Schädel der Schädelgrund knorpelig, während das Schädeldach noch häutig bleibt. Am frühesten verknöchert der im Bereich des Hinterhauptes und Keilbeines gelegene Schädelteil. Das Keilbein bildet sich aus einer vorderen und aus einer hinteren erst in der Folge miteinander verschmelzenden Partie, aus dem vorderen und dem hinteren Keilbein. Von den platten Schädelknochen zeigen die in einer rechten und linken Hälfte angelegten Stirnbeine sowie die beiden Seitenwandbeine für jede Seitenhälfte einen ziemlich zentralen Verknöcherungspunkt, von dem aus strahlenförmig die Verknöcherung fortschreitet; die beiden Verknöcherungspunkte des Stirnbeines fanden wir auch bei dem Erwachsenen als Stirnhöcker, ebenso war der Verknöcherungspunkt eines jeden der beiden Schädelbeine als Scheitelbeinhöcker noch kenntlich. Die Skeletanlage des Schädels gliedert sich in den ersten Entwickelungsstadien nicht so deutlich wie die Wirbelsäulenanlage in Urwirbel, aus denen die bleibenden Wirbel hervorgehen. Dennoch gestattet, wie schon Goethe, Oken und andere hervorgehoben haben, der entwickelte Schädel eine Vergleichung mit der in Wirbel gegliederten Wirbelsäule. Nach der „Wirbeltheorie des Schädels" gliedert sich das ausgebildete Schädelskelet in mehrere „Wirbel". Virchow unterscheidet drei Schädelwirbel: Hinterhauptswirbel, durch das zweifellos wirbelähnlich gestaltete Hinterhauptsbein gebildet; Mittelhauptswirbel, zu welchem als Körper das „hintere Keilbein", als seitliche Fortsätze die Seitenwandbeine gehören, und Vorderhauptswirbel mit dem „vorderen Keilbein" als Körper und dem Stirnbein (den ursprünglich beiden Stirnbeinen) als seitlichen Fortsätzen. Äby glaubt auch das Siebbein, Nasenbein und Pflugscharbein als einen Schädelwirbel auffassen zu dürfen.

„Überzählige Knochen des Schädels" erklären sich meist durch Entwickelungsstörungen und Anomalien in der fötalen Bildungsepoche. Wie wir es schon vom Stirnbein und Keilbein erwähnt haben, treten in den noch knorpeligen oder häutigen Anlagen mancher der Schädelknochen normal nicht nur ein Verknöcherungspunkt, sondern mehrere solcher auf; erst in der Folge verschmelzen die getrennt angelegten Knochenabschnitte. Vor der Verschmelzung sind solche Knochen durch häutige oder knorpelige, naht- oder fugenartige Zwischenstücke getrennt. Stellt sich an solchen Stellen infolge einer Störung der Entwickelung der gewöhnliche Verschmelzungsprozeß

der Knochen nicht ein, so können sich aus der normalen Entwickelung zu erklärende ungewöhnliche Trennungen sonst vereinigter Knochenabschnitte für das spätere Leben erhalten. Am bekanntesten ist die nicht seltene Trennung des Stirnbeines durch eine bleibende, für die Entwickelungsperiode normale Stirnnaht (Sutura frontalis), welche gleichsam als Fortsetzung der Pfeilnaht erscheint. Schädel mit Stirnnaht benennt das Volk als Kreuzköpfe; Kinder mit Kreuzköpfen sollen nach der Volksmeinung ganz besonders begabt sein. Auch die Hinterhauptschuppe kann eine solche „fötale“ Längsnaht beibehalten oder durch fötale Quernähte, eine untere und eine obere (Sutura transversa occipitalis foetalis inferior und superior), in mehrere Stücke zerfallen. Durch die untere Quernaht wird die Schuppe des Hinterhauptsbeines im ganzen abgetrennt, sie erhält dann den Namen Inka-Knochen (Os Incae), da diese Bildung im alten Reiche der Inka besonders häufig vorkommen sollte (s. Abbildung, S. 408). In den noch häutigen Nähten und Fontanellen treten überdies häufig eigne anormale kleine Verknöcherungspunkte auf, welche zur Bildung dauernd bestehender, meist kleiner „Schaltknochen“ oder „Nahtknochen“ führen, die namentlich in der Lambdanaht, als Wormsche Knochen (Ossa Wormiana), und der Schläfenfontanelle häufig sind. (Näheres S. 377.)



Durchschnitt eines Schneidezahnes.
a) Zahnhöhle, b) Zahnbein, c) Zahnschmelz, d) „Zement“.

Die Zähne. — Werfen wir noch einen Blick auf die Zähne (Dentes; s. nebenstehende Abbildung). Man unterscheidet an jedem Zahn drei verschiedene Abschnitte: die frei über das Zahnfleisch hervorragende Krone, den vom Zahnfleisch bedeckten Hals und die in den Kiefer, in dessen etwas aufgetriebene Zahnhöhle eingekeilte Wurzel. Im Inneren jedes Zahnes befindet sich eine Höhlung, welche in der oder den Wurzelspitzen ausmündet. Durch diese Mündungen an den Wurzeln treten Nerven und Gefäße in und aus dem Zahne. Die Zahnhöhle wird durch das nerven- und gefäßreiche Gewebe des Zahnkeimes (Pulpa dentis) erfüllt; feine Kanälchen, welche den Zahn durchziehen und in der Zahnhöhle münden, vermitteln die Zahnernährung. Die Hauptmasse der festen Zahnsubstanz, welche an unverletzten jugendlichen Menschenzähnen nirgends offen zu Tage liegt, wird als Zahnbein oder Elfenbein (Substantia eburnea) bezeichnet. An der Krone des Zahnes wird das Zahnbein von einer von ihm wesentlich sowohl anatomisch als physiologisch verschiedenen Substanz, dem Zahnschmelz (Substantia vitrea), überkleidet, Hals und Wurzel des Zahnes besitzen einen Überzug von Zement (Caementum, Substantia ossea), welcher den Bau der Knochensubstanz zeigt. Doch dürfen wir auch das Zahnbein als modifizierte Knochensubstanz bezeichnen. In chemischer Beziehung ist es mit der Knochensubstanz identisch. Mikroskopisch sehen wir das Zahnbein durchsetzt von langen, röhrenförmigen Kanälchen, die, parallel dicht nebeneinander herlaufend, annähernd senkrecht auf die Begrenzungsfläche der Zahnhöhle stehen. Der Zahnschmelz besteht aus langen, innig aneinander gefügten, meist sechsseitigen, mikroskopischen Fasern oder Säulchen, den Schmelzprismen oder Schmelzsäulen; sie durchsetzen die Dicke des Schmelzes so, daß beim Gebrauch der Zähne der Druck in ihrer Richtung ausgeübt wird. Der Schmelz wird noch von einem sehr harten Häutchen überzogen und geschützt, dem Schmelzoberhäutchen. Der Zahnschmelz ist das an unorganischen Stoffen reichste Gewebe des menschlichen Körpers und dessen härteste Substanz. Die organische Grundlage des Schmelzes unterscheidet den letzteren scharf von dem Knochen, sie liefert nicht, wie die organische Knochensubstanz, mit Zahnbein und Zement Leim, sondern erweist sich chemisch als Hornsubstanz, wie die Nägel, Haare und Oberhaut, Organe, zu welchen der Zahn auch in näherer entwickelungsgeschichtlicher Beziehung

steht. Die unorganischen Schmelzbestandteile sind übrigens vorwiegend wie im Knochen phosphorsaurer Kalk, etwa dem Apatit der Mineralogen entsprechend; dagegen unterscheidet ein hoher, etwa 1 Prozent betragender Gehalt an Fluor als Fluorcalcium die erdigen Schmelzbestandteile von der Knochenerde. Der Wassergehalt des Schmelzes beträgt nur 10 Prozent.

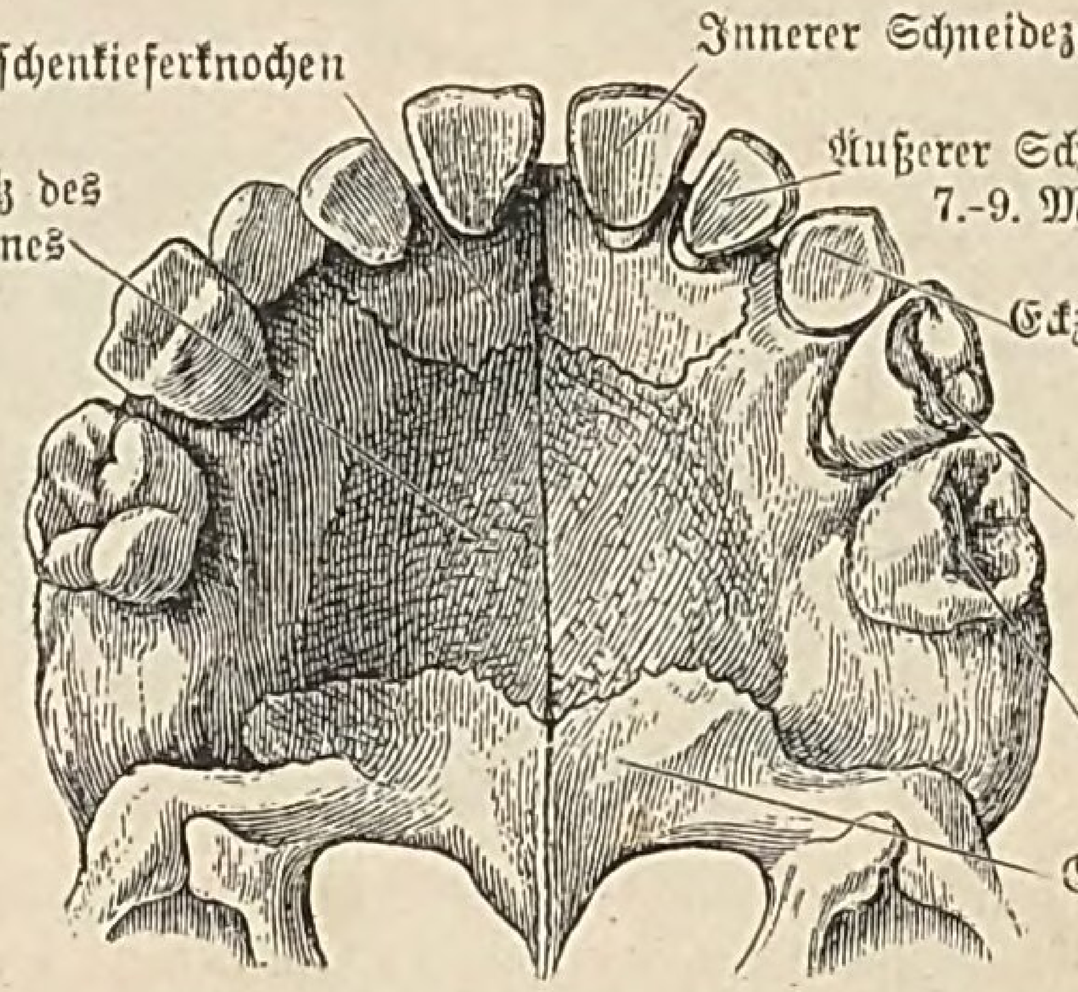
Die Zähne entwickeln sich schon im Kiefer des noch ungeborenen Kindes, jeder Zahn befindet sich in einer eigenen, rings geschlossenen Höhlung mit knöchernen Wandungen, dem Zahnsäckchen; aber erst in der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres pflegen sie aus dem Zahnsäckchen hervorzutreten. Zuerst erscheint von den festen Zahnpartien die Zahnkrone ausgebildet, die anfänglich wie ein hohles Hütchen über der Zahnpapille erscheint (s. nebenstehende Abbildung); Zahnbein und Zement des Halses und der Wurzel bilden sich erst später.



Ein an der Wurzel noch unentwickelter, bleibender Backenzahn (nach Hartmann). 1) Von der Kaufläche, 2) von der Seite.

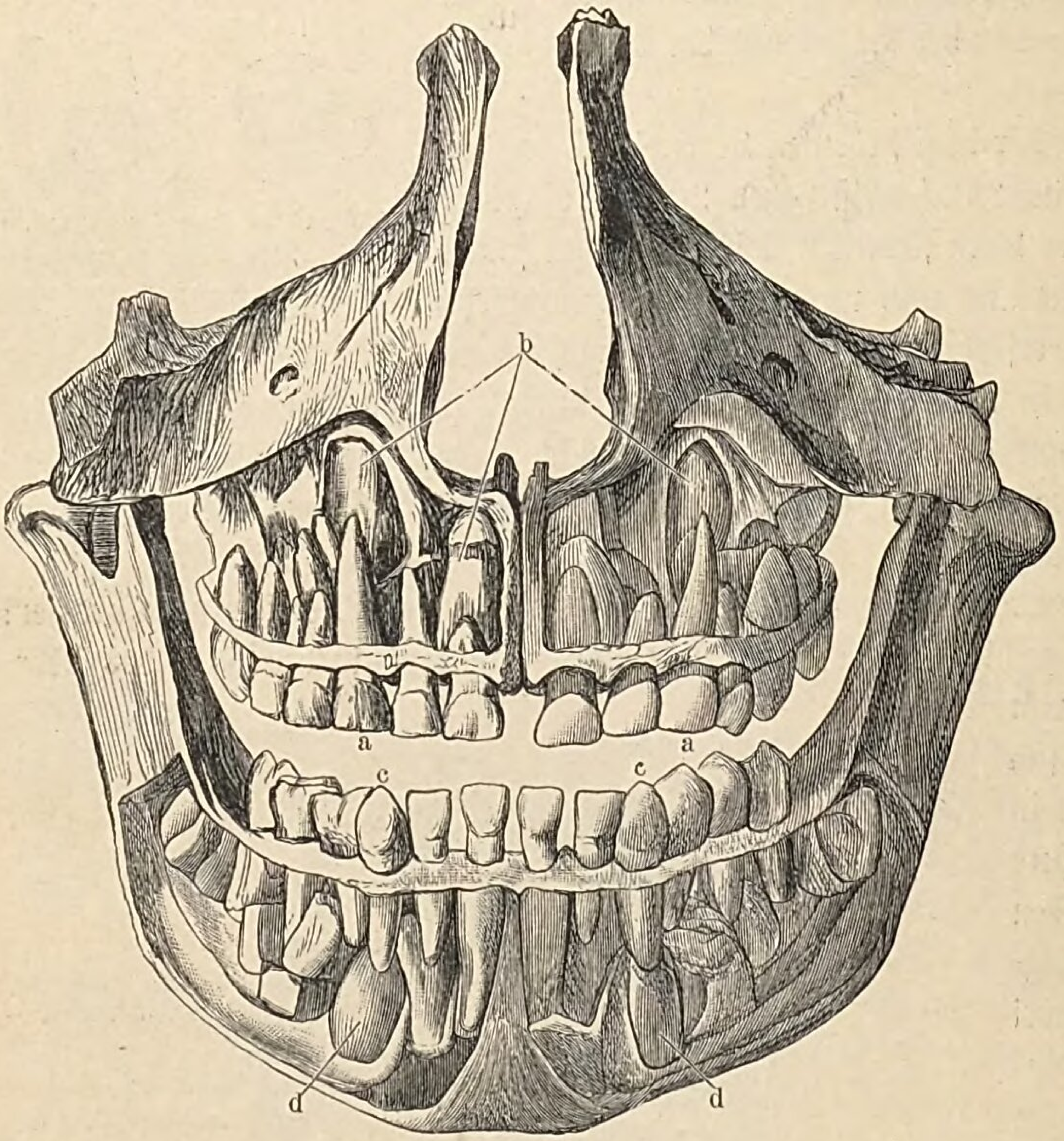
Die Zähne eines Kindes vor dem siebenten Lebensjahre werden als Milchgebiß bezeichnet; im Milchgebiß stehen 20 Milchzähne (s. untenstehende Abbildung). Vom siebenten Lebensjahre an fallen nach und nach die Milchzähne aus und werden im „Zahnwechsel“ durch die bleibenden Zähne ersetzt, welche der Mehrzahl nach größer als die Milchzähne sind und in der größeren Anzahl von 32 auftreten. Auch die Anlage der bleibenden Zähne stammt schon aus einer früheren Entwickelungsperiode; gleichzeitig mit den Zahnsäckchen der Milchzähne werden schon Zahnsäckchen für die bleibenden Zähne, Reservesäckchen, angelegt (s. Abbildung, S. 384).

Wir haben schon oben (S. 293) die einzelnen Zahnformen des Menschen besprochen. Man unterscheidet bekanntlich je vier Schneidezähne (Dentes incisivi) in der Mitte des Ober- und Unterkiefers. Seitlich von den Schneidezähnen, direkt sich an dieselben anreihend, stehen in jedem Kiefer zwei Eckzähne (Dentes canini), neben welchen wieder seitlich, ebenfalls ohne jegliche Lücke, im Milchgebiß je zwei Backenzähne (Dentes molares), im bleibenden Gebiß dagegen je fünf Backenzähne und zwar zunächst je zwei vordere Backenzähne (Dentes praemolares) und dann noch je drei Mahlzähne (Dentes molares) folgen. Die Ordnung, in welcher die Milchzähne in der ersten Zahnung aus dem Kiefer hervorbrechen, ist eine wenn auch nicht absolut, doch annähernd gleichbleibende. Gewöhnlich brechen zwei zu einer Gruppe gehörige Zähne ziemlich gleichzeitig hervor. Mit dem siebenten Lebensmonat des Kindes kommen zuerst die beiden inneren Schneidezähne des Unterkiefers, nach kurzer Zwischenfrist folgen die beiden entsprechenden Schneidezähne des Oberkiefers. Etwa einen Monat später brechen die äußeren Schneidezähne hervor. Im Anfang des zweiten Lebensjahres folgt jederseits der erste Backenzahn, wie der zweite ein wahrer Mahlzahn oder Molar; in die Lücke zwischen diesem und dem äußeren Schneidezahn schiebt sich in der Mitte des zweiten Lebensjahres der Eckzahn ein. Mit dem Durchbruch des zweiten Backenzahnes auf beiden Seiten des Ober- und Unterkiefers ist meist zu Ende des zweiten Lebensjahres die Anzahl 20, die Normalzahl für die Zähne des Milchgebisses, erreicht, die Bildung des Milchgebisses also vollendet (s. auch Abbildung, S. 386).



Die Milchzähne des Oberkiefers.

Der Zahnwechsel, die zweite Zahnung, beginnt im siebenten Lebensjahre. Wurzel und Körper der Milchzähne werden bis zur Krone resorbiert durch jenen eben beschriebenen, durch Osteoklastenzellen eingeleiteten Auffaugungsprozeß. Als erster der bleibenden Zähne bricht neben den beiden Milchbackenzähnen der erste Mahlzahn hervor, dann folgt der eigentliche Wechsel der Milchzähne. Der innere und dann der äußere Schneidezahn wechseln zu Ende des siebenten oder Anfang des achten Lebensjahres, hierauf der erste und zweite Backenzahn im achten und neunten, zuletzt der Eckzahn im zehnten oder elften Jahre. Im zwölften Lebensjahr erscheint der zweite Mahlzahn; der dritte und letzte Mahlzahn, der Weisheitszahn (Dens sapientiae), dessen Krone in dem im Kiefer verborgenen Zahnsäckchen erst im zehnten Lebensjahr zu verknöchern beginnt, kommt zwischen dem 16. und 22., manchmal erst im 30. oder 40. Lebensjahre zum Vorschein oder bleibt auch wohl ganz aus (s. untere Abbildung, S. 386).

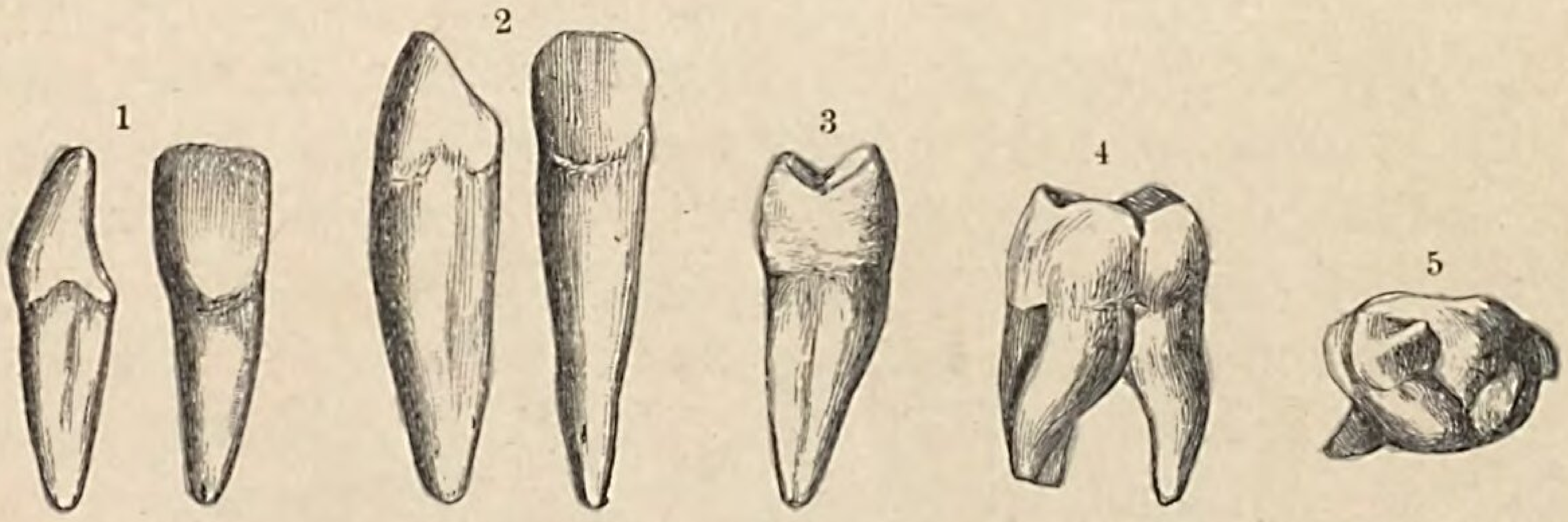


Zahnwechsel (nach Hartmann).
Milchzähne und bleibende Zähne bei einem 5½jährigen Kinde. Die vorderen Alveolardecken der Kiefer zum Teile weggenommen. a) Obere, c) untere Milcheckzähne; b) bleibende obere, d) bleibende untere Schneide- und Backenzähne.

Im späteren Alter treten Veränderungen an den Zähnen ein, welche schließlich zum Ausfallen der „bleibenden" Zähne führen. Die bleibenden Zähne werden durch den Gebrauch abgenutzt. Im 70. Lebensjahre haben alle Schneidezähne ihre Kanten eingebüßt, die halbe Krone ist abgeschliffen, das Zahnbein liegt hier frei. An den Eckzähnen und Backenzähnen sind die Höcker ebenfalls abgeschliffen, und der Schmelz erhält sich nur zwischen den Vertiefungen der Höcker. Das Ausfallen der Zähne ist Folge mangelhafter Ernährung, wie bei dem ersten Zahnwechsel. Nach dem Ausfallen der Zähne schwinden die Zahnalveolen und mit ihnen der ehemalige Zahnrand der Kiefer. Der Unterkiefer wird dadurch zu einer stark, namentlich in der Richtung von oben nach unten, verschmälerten Knochenspange, auch der Oberkiefer wird verkürzt, so daß das Gesicht der Alten kürzer wird (s. Abbildung, S. 391). Man hat von einem zweiten Zahnwechsel oder einer dritten Zahnung im hohen Alter gesprochen, welche im 70. Lebensjahre beginnen sollte. Es sind Fälle beobachtet, wo im höchsten Alter neue Zähne zum Vorschein gekommen sind. Es ist übrigens unwahrscheinlich, daß es sich bei dieser dritten Zahnung im Alter um erst neuentstandene Zähne handelt; meist sind es gewiß Zähne, welche, wie das nicht selten beobachtet ist, in der Jugend schon vorgebildet, aber zurückgehalten, erst nach dem Ausfallen anderer Zähne Platz und Gelegenheit bekommen, hervorzubrechen (s. obenstehende Abbildung).

Die beiden Zahnreihen verlaufen bei dem Menschen im Ober- und Unterkiefer normal, ohne eine Lücke zwischen sich zu lassen, je in einem hufeisenförmigen Bogen. Die Richtung der Ober- und Unterzähne gegeneinander, ob senkrecht oder in einem mehr oder weniger spitzen Winkel, ist bei verschiedenen Individuen und Menschenrassen verschieden.

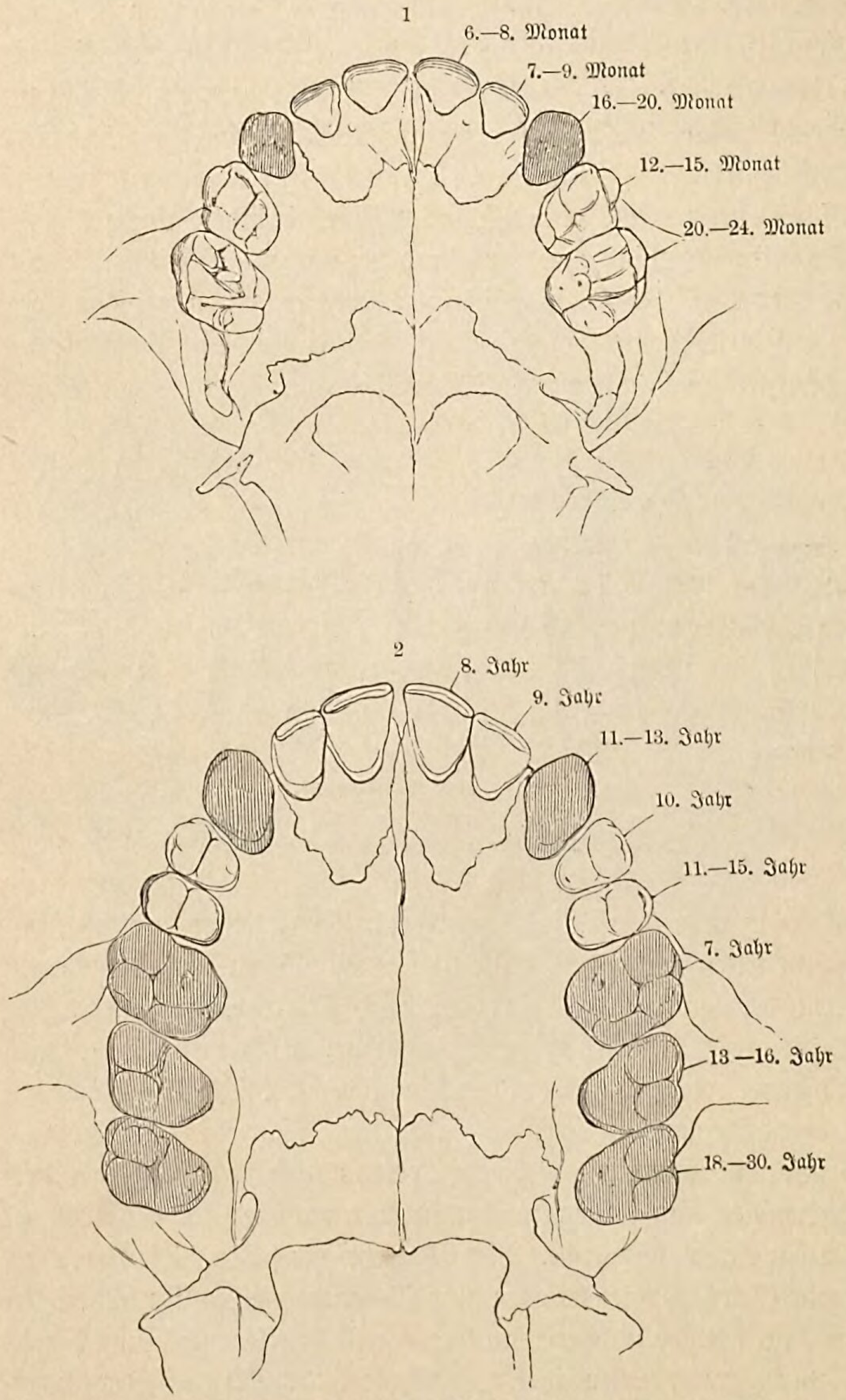
Der Gestalt der Zähne entspricht ihre ihrer Funktion entnommene Bezeichnung (s. untenstehende Abbildungen). Die Schneidezähne besitzen eine von vorn nach hinten meißelförmig zugeschärfte Krone mit geradem Endrand und eine einfache Wurzel. Die Vorderfläche ihrer Krone ist leicht konvex, die Hinterfläche leicht konkav. Die Wurzel erscheint seitlich abgeflacht, plattgedrückt. Die oberen Schneidezähne sind etwas größer als die unteren. Die Eckzähne oder Augenzähne haben eine längere und dickere, sonst aber der Wurzel der Schneidezähne ähnliche einfache Wurzel. Die Krone, welche über die der Schneidezähne nicht oder nur sehr wenig vorragt, ist spitz keilförmig, vorn konvex, hinten leicht konkav oder eben. Ihre namentlich im Oberkiefer langen, zapfenartigen Wurzeln ragen im Oberkiefer in aufgetriebenen Zahnfächern oft bis gegen den Augenhöhlenboden empor. Die beim Erwachsenen jederseits nach außen vom Eckzahn stehenden beiden Zähne werden als vordere Backenzähne, vordere oder falsche Mahlzähne, Prämolaren, bezeichnet. Die oberen Prämolaren haben entweder zwei Wurzeln oder nur eine einfache, plattgedrückte Wurzel, an welcher eine der Länge nach abwärts verlaufende Furche die Möglichkeit des Zerfallens in zwei Wurzeln andeutet. Die Wurzel der unteren Prämolaren ist mehr abgerundet und selten gefurcht, sehr selten verdoppelt. Die flachen Kauflächen der Prämolaren, ihre Mahlflächen, sind zweihöckerig, der vordere Hügel oder Talon ist stärker als der hintere. Auf die Backenzähne folgen jederseits die drei Mahlzähne oder Stockzähne, Molaren. Sie zeichnen sich durch ihre Größe und durch die vier oder fünf Höcker ihrer Kaufläche aus. Die Mahlzähne des Oberkiefers haben in der Regel drei auseinanderweichende, kegelförmige Wurzeln. Die Molaren des Unterkiefers haben dagegen nur zwei nach hinten gebogene, deren jede scheinbar aus der Verwachsung zweier kleinerer, kegelförmiger Wurzeln entstanden ist; der vordere, seltener auch der kürzere hintere Zinken der Wurzel hat eine Längsfurche. Vier Wurzeln sind selten. Die Krone der Mahlzähne ist oben flach, breit, würfelförmig, mit vier oder fünf Höckern versehen. Im Oberkiefer haben ihre Kauflächen meist vier, zwei seitliche und zwei mittlere, im Unterkiefer meist fünf Höcker, Talons, drei am äußeren, zwei am inneren Kronenrande. Der letzte Stockzahn auf jeder Kieferseite, der Weisheitszahn, ist kürzer und kleiner als die übrigen, und nicht selten sieht man seine Wurzeln zu einem einzigen kegelförmigen, geraden oder gekrümmten Zapfen verschmolzen, der im Unterkiefer gegen die Basis des Kronenfortsatzes gerichtet ist. Nach Darwin wäre der Weisheitszahn bei den weißen Rassen meist mehr oder weniger verkümmert und daher nur zweiwurzelig, während er bei den schwarzen Rassen dagegen gewöhnlich dreiwurzelig und größer ist.



Zahnformen (nach Hartmann).
1) Schneidezähne, 2) Eck- oder Augenzähne (1 und 2 je von der Seite und von vorn); 3) Backenzahn, 4) Mahlzahn (beide von der Seite); 5) Mahlzahn (von oben).

Die beiden Backenzähne oder Stockzähne des Milchgebisses ähneln in ihrer breiten, viereckigen und fünfhöckerigen Krone und der Zahl ihrer Wurzeln den bleibenden Mahlzähnen, doch sind sie kleiner. Die Milchzähne zeigen eine mehr bläulich porzellanartige Farbe als die

bleibenden Zähne, ihre Zahnhöhlen sind weiter, die Wandungen dünner. Nach den Messungen von **Hüter** und **Welcker** steht der innerste Schneidezahn vom ersten echten, bleibenden Mahlzahn des Unterkiefers beim Erwachsenen nicht weiter ab als beim siebenjährigen Kinde, so daß die zehn bleibenden Zähne, welche nach dem Durchbruch der beiden ersten echten, bleibenden Mahlzähne die zehn Milchzähne ersetzen, keine größere Reihe bilden als ihre Vorläufer. Die bleibenden Schneidezähne und Eckzähne sind breiter als die entsprechenden Zähne des Milchgebisses, dagegen sind die bleibenden Backenzähne bemerkbar kleiner als die Milchbackenzähne oder besser Milchmahlzähne. Auf diese Weise schiebt sich die Reihe der Schneidezähne mit den Eckzähnen im bleibenden Gebiß näher an den ersten bleibenden Mahlzahn, und der bleibende Eckzahn steht weiter nach außen als der Milcheckzahn (s. beistehende Abbild.).



Reihenfolge des Hervorbrechens der Milchzähne (1) und der bleibenden Zähne (2).

Überzählige Zähne als Mißbildungen, z. B. sechs Backenzähne, kommen nicht ganz selten vor; anderseits gelangen auch z. B. wegen Kleinheit der Kiefer normale Zähne nicht zum Durchbruch, bleiben im Kiefer stecken und können dann noch, wie schon erwähnt, manchmal erst im hohen Lebensalter nach dem Ausfall anderer Zähne in einer scheinbar dritten Zahnung vorgeschoben werden. Einen höchst merkwürdigen, nach **Virchows** Ansicht hierher gehörigen Fall bildet der von **Maschka** in der Schipka-Höhle in Mähren gefundene Rest eines menschlichen Unterkiefers, der **Schipka-Kiefer**, welcher um so mehr unser Interesse beansprucht, da nach den Fundverhältnissen der Unterkiefer von **Virchow** einem in der Mammutperiode, also weit vor aller Geschichte, in Mähren lebenden Individuum zugeschrieben wird. **Virchow** erklärt, daß der Kieferrest einst einem Erwachsenen zugehört habe, wofür die Größenverhältnisse des ganzen Unterkieferstückes, die Größe der Zähne und die Abnutzung der Kauflächen der Schneidezähne angeführt werden, und doch sind drei von

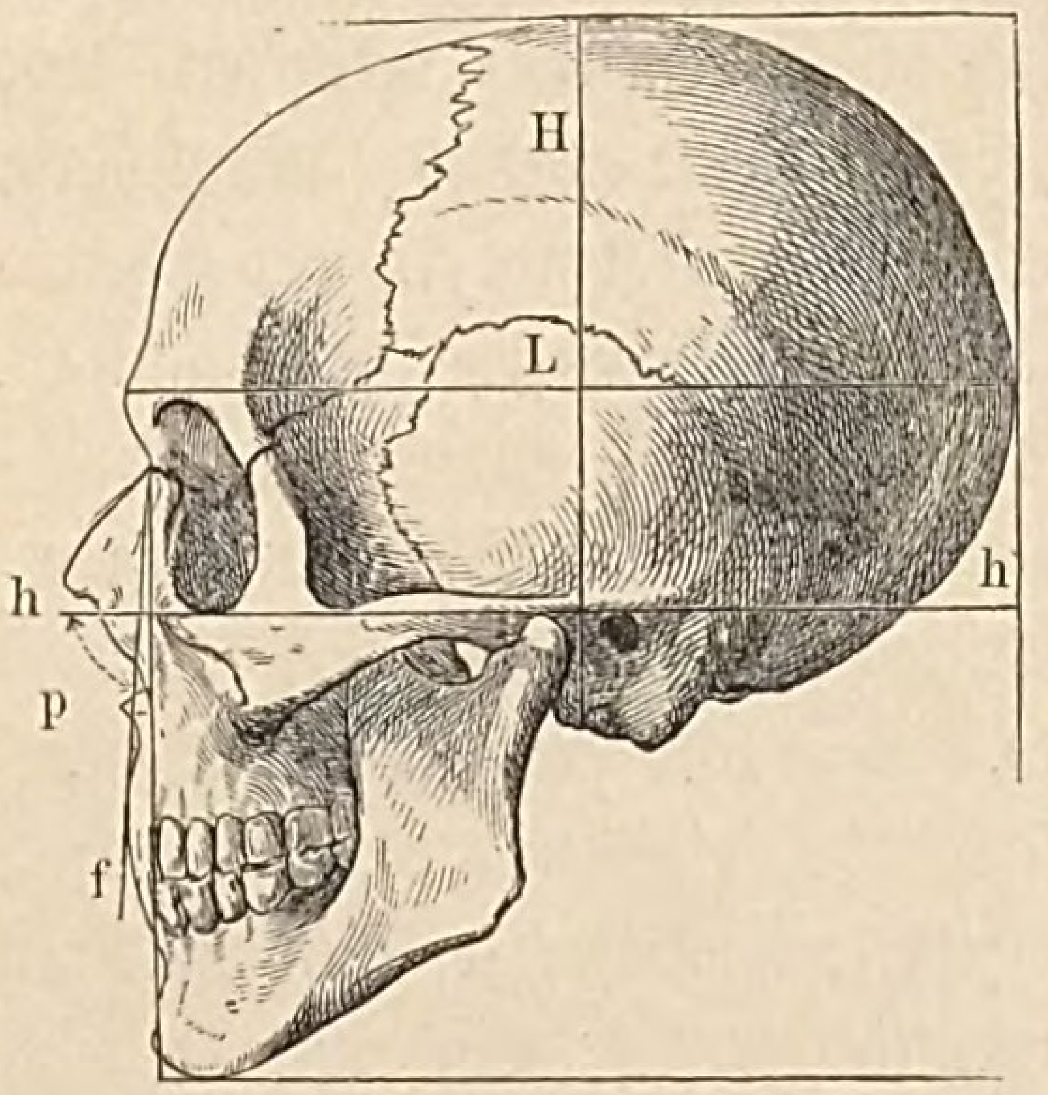
den bleibenden Zähnen der rechten Seite, der Eckzahn und die beiden Prämolaren, noch nicht durchgebrochen. In der Zahnentwickelung und entsprechend in der Verbreiterung der „Unterfläche" des Unterkiefers erkennt Virchow eine Bildungsanomalie und zwar eine Exzeßbildung, verknüpft mit regelwidriger Zurückhaltung, Retention, der drei Zähne. Das Kieferfragment hat viel Aufsehen gemacht, Schaaffhausen und anfänglich auch Wankel erklärten seine Bildung für affenähnlich, Virchows Ergebnis war dagegen, daß derselbe „nichts Pitheokoides, Affenähnliches, an sich hat"; jene erklärten ihn für einem riesenhaften Kinde in der zweiten Zahnung zugehörig, Virchow sagt dagegen, daß er „von einem Erwachsenen herstammt". Weiteres darüber unten.

Für die Altersbestimmung der Schädel wird zunächst der ziemlich regelmäßig erfolgende Zahndurchbruch von Wichtigkeit. Der letzte (dritte) Backenzahn, der Weisheitszahn, ist meist zwischen dem 24. und 30. Jahre durchgebrochen; Schädel, welche also fünf Kauzähne jederseits im Kiefer besitzen, lassen wenigstens auf ein Lebensalter über die Mitte der Zwanziger schließen. Die Abnutzung der Zahnkronen bietet weniger Sicherheit; fehlt sie, so kann man mit Gewißheit ein jugendliches Alter annehmen, aber rohe, namentlich sandige Nahrung (wie sie z. B. das Mehl, auf weichen Handmühlsteinen hergestellt, ergibt) reibt die Zähne rascher ab; im höheren Alter sind jedoch die Zahnkronen stets stärker abgerieben, endlich fallen die Zähne aus, und der Zahnrandbogen der Kiefer beginnt zu schwinden. Auch das Eintreten dieses Zahnrandschwundes ist ein Zeichen des Alterns, er tritt aber individuell sehr verschieden bald ein. Dasselbe gilt für die Verwachsung der „bleibenden Schädelnähte", die im höheren Alter mehr oder weniger vollständig erfolgt ist. Zuerst beginnen das gegen die Lambdanaht gewendete Ende der Pfeilnaht und die beiden gegen die großen Keilbeinflügel gerichteten Endstücke der Kranznaht zu verknöchern, später verschwinden sogar meist die Nahtspuren an diesen Nahtstellen. Aber der Eintritt der normalen „senilen" Nahtverwachsungen ist ein individuell zeitlich sehr verschiedener, und dazu kommt noch, daß die Nähte aus krankhaften Ursachen „vorzeitig" verknöchern können. Viele in ihrer Form individuell abweichende und krankhaft verunstaltete Schädel haben ihre Form von solchen vorzeitigen, einseitigen und anderen Nahtverwachsungen erhalten. Die Knorpelfuge zwischen Keil- und Hinterhauptsbein verknöchert etwa nach dem 18. Lebensjahre.

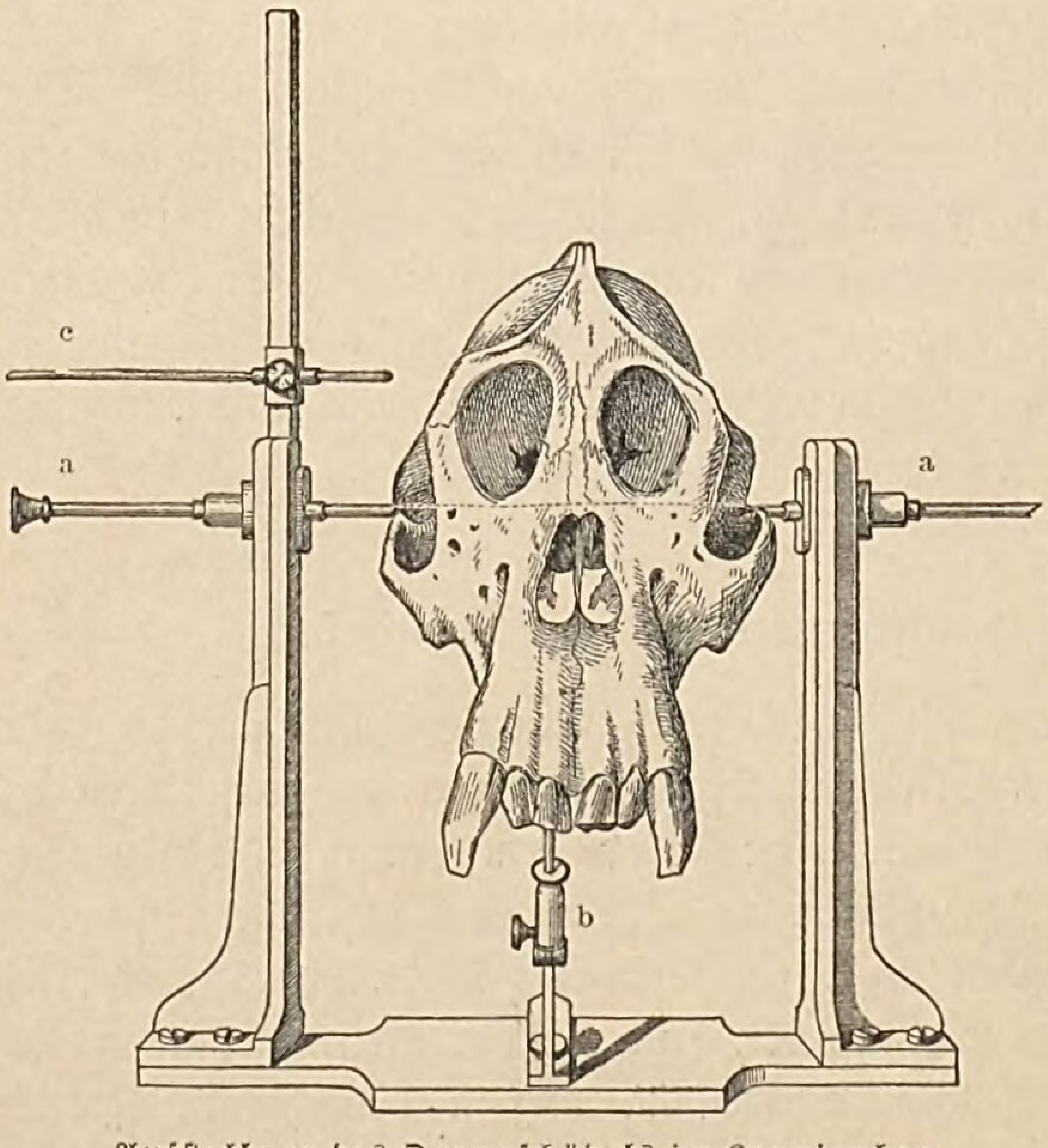
Anthropologische Betrachtungsweise der Schädel.

Als am Ende des vorigen Jahrhunderts mit den anderen Naturwissenschaften auch die exakte Anthropologie ihre Auferstehung feierte, waren es zwei berühmte Namen, an deren Werke die neue Entwickelung unserer Wissenschaft zunächst anknüpfte: Peter Camper und J. F. Blumenbach. Peter Campers nachgelassenes, wichtige Anregungen gebendes Werk „Über den natürlichen Unterschied der Gesichtszüge im Menschen" legte kein Geringerer als S. Th. Sömmering 1792 in Übersetzung dem deutschen gelehrtem Publikum vor. Joh. Friedr. Blumenbach in Göttingen, der Begründer der ersten wissenschaftlichen Schädelsammlung in Deutschland, legte die exakte Grundlage für die gesamte Anthropologie in seinem Kleinoktavwerkchen von 100 Seiten: „Über die angeborene Verschiedenheit des menschlichen Geschlechtes" („De generis humani varietate nativa", 1776) nieder. Sowohl Camper als Blumenbach hatten schon die Notwendigkeit eingesehen, die Schädel zum Zwecke ihrer exakten Vergleichung in immer gleicher Weise aufzustellen. Camper, selbst Künstler und zur Belehrung von Künstlern zunächst schreibend, fertigte von den Schädeln Abbildungen in genauem Profil nach geometrischer Methode, welche, in der Folge durch G. Lucae weiter ausgebildet, in Deutschland für exakt vergleichbare Abbildungen der

Schädel in allgemeine Aufnahme kam. „Bei all diesen Zeichnungen habe ich eine große Genauigkeit und Nettigkeit angewendet", sind Peter Campers Worte. „Ich zog nämlich eine Horizontallinie längs dem untersten Teile der Nase und dem Gehörgange und ordnete alle Schädel auf diese verlängerte Linie so genau wie möglich, indem ich vorzüglich die Richtung des Wangenbeines (Jochbeines) im Auge behielt." Es ist richtig, Campers Abbildungen (S. 390—392) beweisen selbst, daß er sich nicht streng an seine Linie band, er zieht sie bald über, bald unter der Ohröffnung, bald, was wohl eigentlich seine Norm war, durch deren Mitte, eine Unsicherheit, welche Blumenbach Campers sonst außerordentlich schönen Abbildungen mit Recht vorwerfen konnte. Blumenbach zog es vor, die Schädel zur Vergleichung ihrer Gestalt mit den Wangenbeinen in die gleiche Horizontallinie zu richten. Man stellte später in Deutschland, im Anschluß an Blumenbach, die Schädel so auf, daß der obere Rand des Jochbogens mit einer zur Unterstützungsfläche, z. B. Tischplatte, horizontalen Linie möglichst zusammenfiel, so gut, wie das die mehr oder weniger starke Krümmung des oberen Jochbogenrandes zuläßt. Die deutschen Anthropologen und die Mehrzahl der außerdeutschen in Europa haben sich nun dahin geeinigt, da auch die Blumenbachsche Aufstellung wegen der Krümmungen des oberen Jochbogenrandes keine ganz sichere und absolut gleichmäßige war, die Schädel für die wissenschaftlichen Vergleichungen und Abbildungen nach einer Horizontallinie, der deutschen Horizontale, aufzustellen, welche den tiefsten Punkt des Unterrandes der Augenhöhle mit dem senkrecht über der Mitte der Ohröffnung liegenden Punkte des oberen Randes des knöchernen Gehörganges im vollen Profil verbindet (s. obenstehende Abbildung). Da der Schädel dabei symmetrisch aufgestellt werden muß, so ist, bei Voraussetzung eines vollkommen symmetrischen Baues des Schädels, durch die beiden Horizontallinien am Schädel, die rechte und die linke, eine Ebene definiert, in welche der Schädel gestellt wird, und diese ist es, welche man als „deutsche Horizontalebene" bezeichnet hat.[1] Die Messungen und Abbildungen der Schädel werden auf diese Normalstellung bezogen. Die „deutsche Horizontale" ist so gewählt, daß sie möglichst den Kopf so stellt, wie er bei ruhiger



Schädelmessung.
H) Schädelhöhe, L) Schädellänge, f) Gesichtshöhe, p) Gesichtslinie, hh) „deutsche Horizontale".

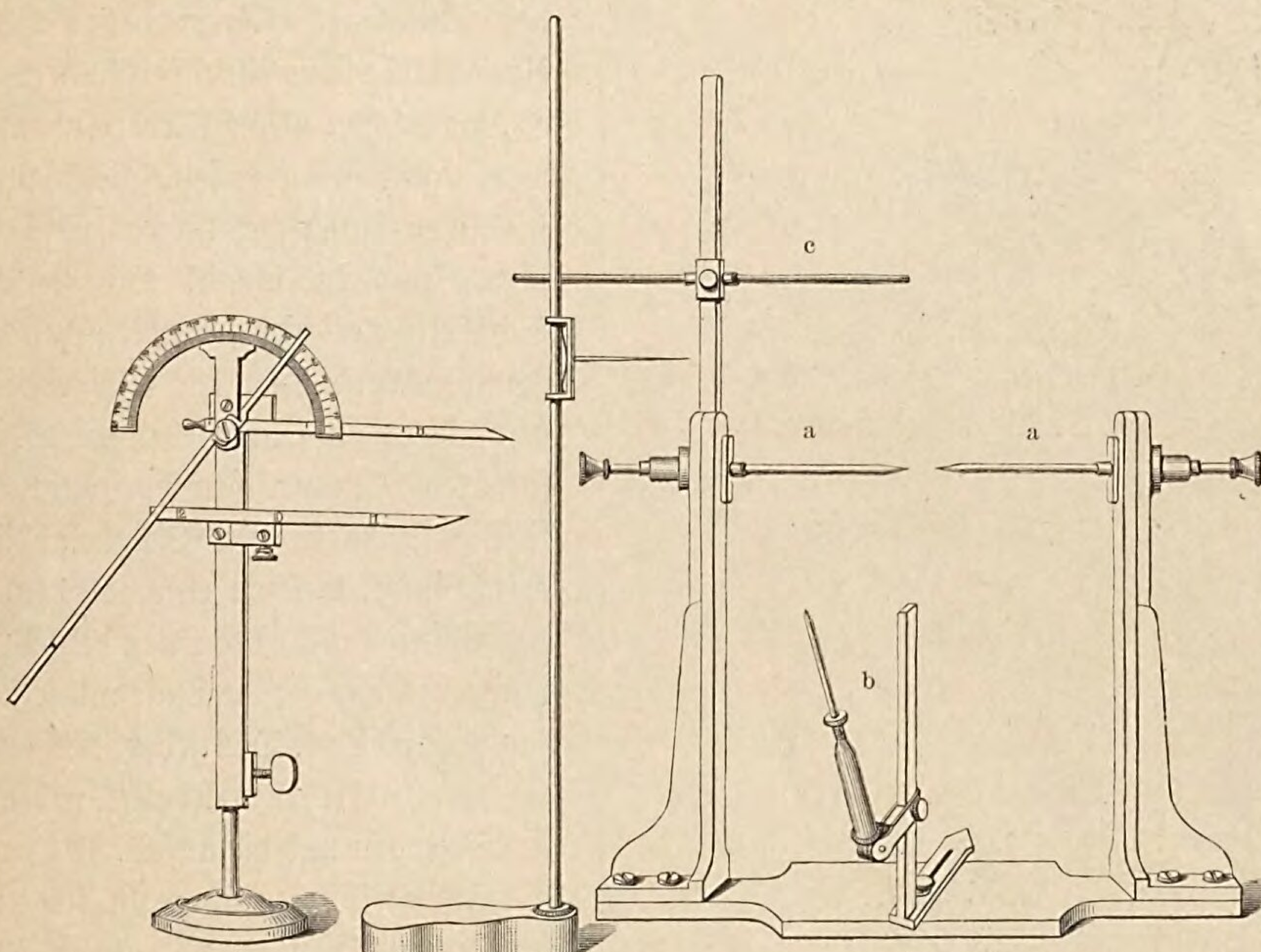


Aufstellung des Orangschädels im Kraniophor.
Beschreibung im Text, S. 389.

[1] A. von Török hat besonders energisch darauf hingewiesen, daß bei der bekanntlich sehr häufig, nach W. Braune bei etwa 50 Prozent aller von ihm untersuchten Schädel, nachweisbaren Asymmetrie beider Schädelhälften, welche der längst bekannten Asymmetrie beider Körperhälften entspricht, die beiden deutschen

Haltung und gerade nach vorwärts gewendetem Blick von dem Lebenden auf der Wirbelsäule getragen wird. Da aber jeder Mensch seinen Kopf etwas individuell von anderen Personen verschieden zu tragen pflegt, der eine etwas höher, der andere etwas mehr gesenkt, so will selbstverständlich die „deutsche Horizontale" nur eine möglichst treue Annäherung an die schwankende „individuelle Horizontale" darstellen, die jedem Schädel zukommt und die auch, wie es scheint, gewisse Beziehungen zu der Gesamtform des Schädels und damit vielleicht auch zur Menschenrasse, von welcher der Schädel stammt, erkennen läßt.

Man kann sich im Notfall für die Aufstellung der Schädel in die Horizontale sehr einfacher Mittel bedienen, z. B. eines Holzringes, weit genug, daß der Schädel fest darauf ruht; man hat dafür aber eigene Schädelträger konstruiert, sogenannte Kraniophore, von denen



Apparate zur kraniometrischen Winkelmessung. 1) Kraniophor, 2) Höhenzeiger, 3) Goniometer. Beschreibung im Text.

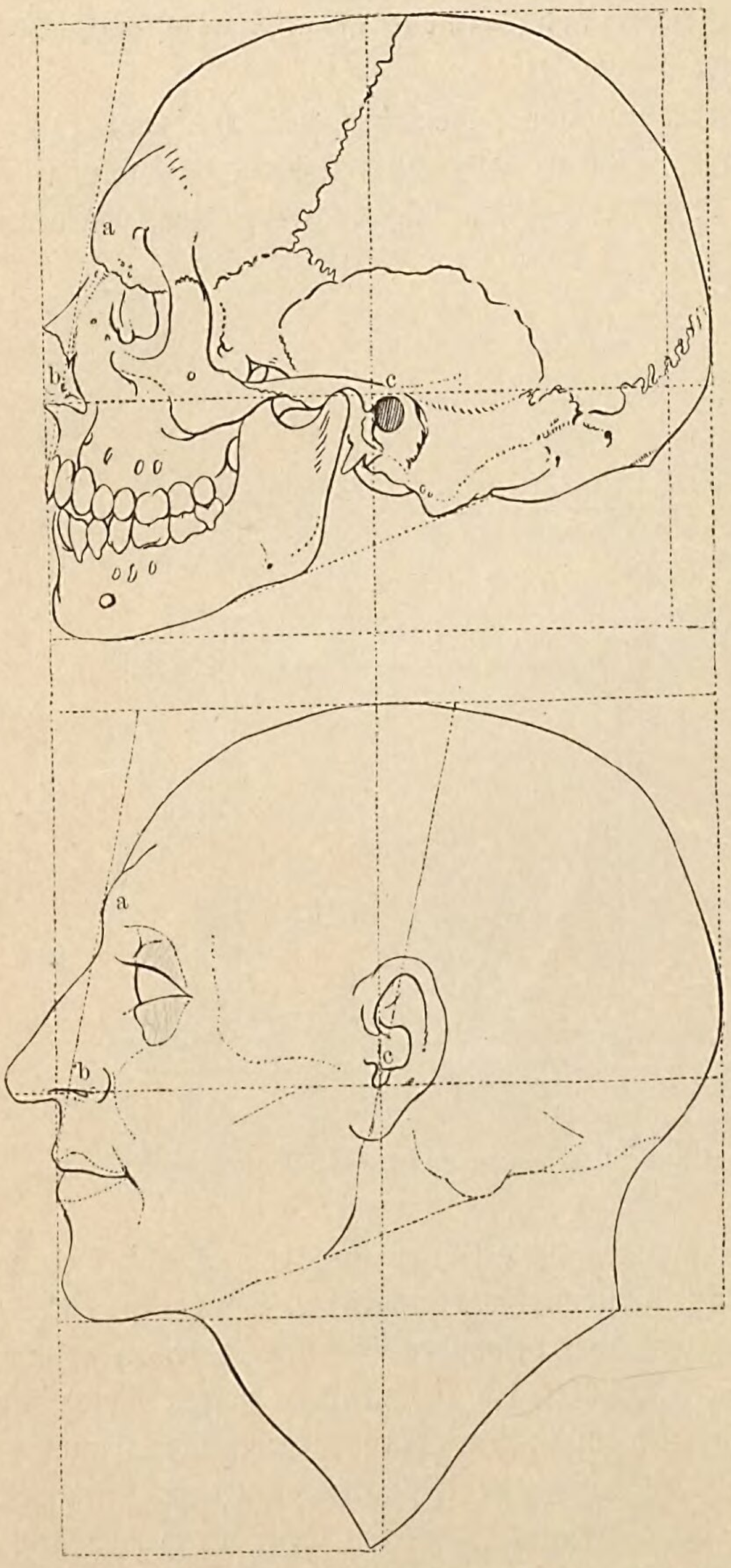
der vom Verfasser für die deutsche Horizontalstellung adaptierte Brocasche Kraniophor (s. obenstehende Abbild., Fig. 1, u. S. 388 unten) die Aufstellung, und zwar in allen vier Schädelnormen, leicht und sicher gestattet. Zwei in einer Linie horizontal gegeneinander bewegliche „Ohrnadeln" aus Stahl (a) werden so in die beiden Ohröffnungen eingeführt, daß sie mit ihrem oberen Rande den oberen Rand der Ohröffnungen berühren und fixieren, eine in einer Schraube bewegliche „Gaumenstütze" (b) hebt dann das Gesicht des Schädels so weit, daß der tiefste Punkt des Augenhöhlenrandes mit dem höchsten Punkte des oberen Randes der Ohröffnung derselben Seite gleich hoch steht. Eine sehr einfache Einrichtung (c) gestattet es, den Schädel senkrecht auf diese Primärstellung und

---

Horizontallinien rechts und links am Schädel in ihrer Projektion auf die Medianebene oft einen Winkel miteinander bilden, so daß sie nicht genau in die gleiche Ebene fallen. W. Braune hat aber gezeigt, daß dieser Winkel in der Mehrzahl der Fälle so minimal ist, daß er für die gebräuchlichen Messungen unberücksichtigt bleiben darf, und überhaupt bei allen von ihm darauf geprüften Schädeln der verschiedensten Rassen in keinem Falle 4° überstieg. Um ganz genau zu verfahren, muß man daher an den Schädeln mit bemerkbarer Asymmetrie beide Horizontallinien messen und den etwa vorhandenen Winkel halbieren, dann kann „man bei den Messungen den Winkel vollkommen vernachlässigen und annehmen daß beide Linien in einer Ebene liegen".

mit der Basis nach aufwärts, also um 180°, gedreht zum Zweck der Messungen zu fixieren.[1] Ein anderer Schädelträger wurde von Spengel konstruiert (s. Abbildung, S. 393 oben).

In der Profilbetrachtung, in der Norma lateralis, fällt für den, welcher an Untersuchung von Schädeln nicht gewöhnt ist, der Einfluß der verschiedenen Horizontalstellung am meisten auf. Was den Menschenkopf von dem des Tieres am auffallendsten unterscheidet, ist der Mangel einer vorspringenden „Schnauze"; auch bei den Menschenaffen, namentlich bei den erwachsenen, sehen wir dieses schnauzenförmige Vorspringen der Mundpartie einen der wesentlichsten Unterschiede vom Menschen bilden. Das ist es, was schon Peter Camper aufgefallen war, und worauf er seine gleichsam mathematischen Unterscheidungen zwischen Menschen- und Tierschädel und zwischen den Schädeln verschiedener Menschenrassen zu gründen versuchte. Zu diesem Behufe bestimmte er an seinen nach der S. 388 definierten „Camperschen Horizontale" aufgestellten geometrischen Schädelabbildungen den Winkel, welchen eine von dem hervorragendsten Punkte der Stirn dem Profil entlang gezogene gerade Linie mit seiner Horizontallinie bildet. Das ist der berühmte Campersche Gesichtswinkel (s. nebenstehende Abbildungen und die auf S. 391 und 392). Camper selbst bestimmte ihn für einen „geschwänzten Affen, wahrscheinlich Simia cynomolgus *Linnaei*", zu 42°, bei einem sehr jungen Orang-Utanschädel zu 58°; an Menschenschädeln fand er den Winkel bei Erwachsenen etwa zwischen 70 und 80° schwanken, 80° bei Europäern, 70° bei je einem Neger und Kalmücken. Obwohl sich Blumenbach mit Entschiedenheit gegen die für die Rassenbestimmung der Menschenschädel ausschlaggebende Bedeutung des Camperschen Gesichtswinkels ausgesprochen und nachgewiesen hatte, daß derselbe für die Rasse keineswegs konstant sei, bürgerte sich doch die Methode der Vergleichung der Schädel nach ihrem Camperschen Gesichtswinkel rasch und dauernd in der Anthropologie ein. Ergaben sich hier doch auch für den Nichtanatomen gleichsam

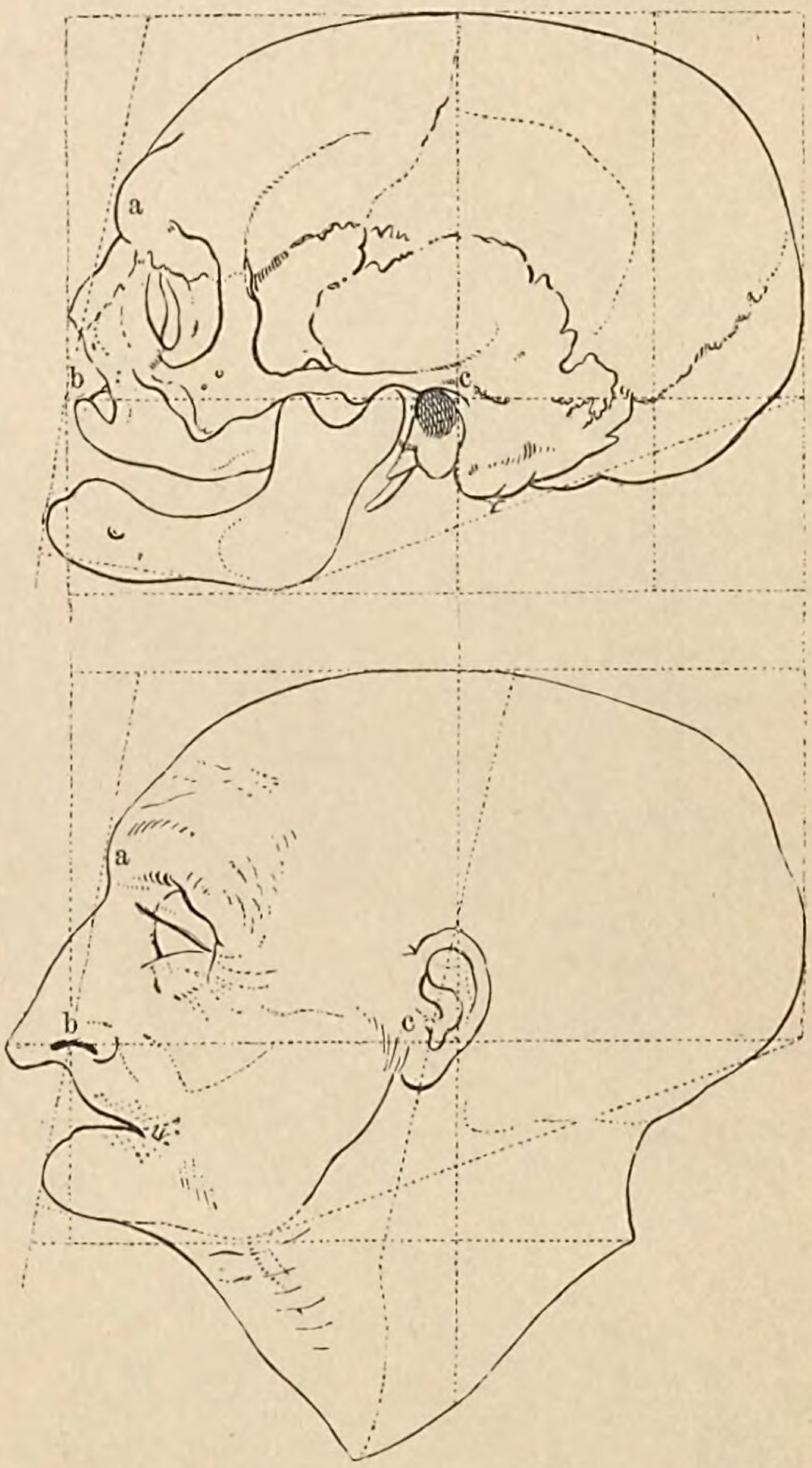


Schädel und Gesicht eines Europäers von mittlerm Alter (nach Camper). abc Gesichtswinkel.

[1] Näheres darüber findet sich bei J. Ranke, Beiträge zur Anthropologie der Bayern, Bd. I und Bd. II, München, F. Bassermann, 1892, welch letzterer „als Leitfaden für die kraniometrischen Untersuchungen, namentlich Winkelmessungen nach der deutschen Horizontale" bearbeitet ist.

greifbare Unterschiede der sonst in ihren Differenzen so schwerverständlichen Schädel, während die zoologische Betrachtungsweise Blumenbachs, der den Schädel mit all seinen Eigentümlichkeiten als ein Ganzes aufgefaßt und beschrieben wissen wollte, doch nur für einen geschulten Anatomen begreiflich und verwendbar war.

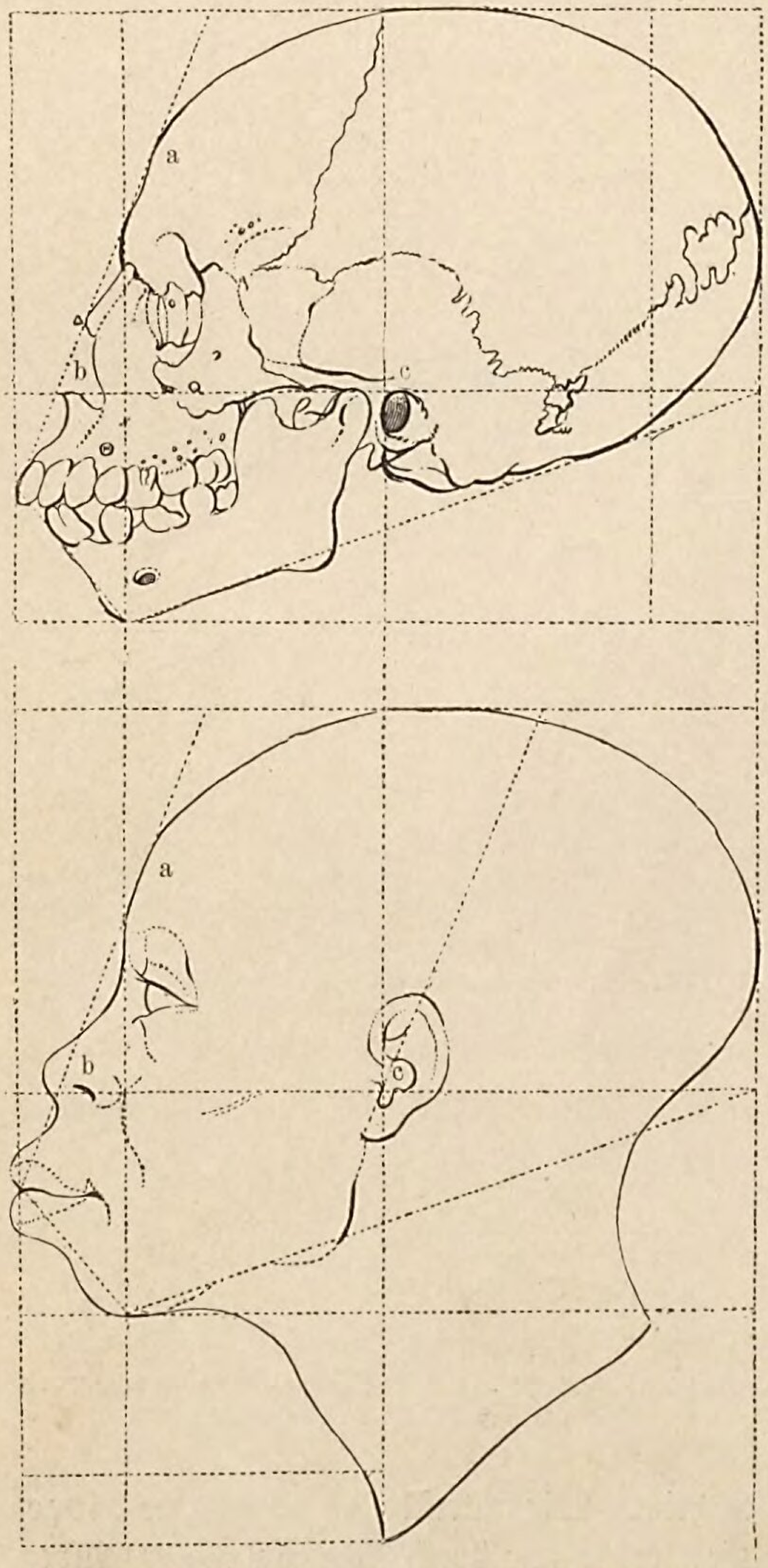
Man nennt nach Prichard die Schädel, bei denen sich die Kiefer mit den schräg nach vorn geneigten Zähnen schnauzenartig vorschieben, prognathe Schädel, d. h. Schädel mit vorgeschobenen Kiefern oder Schiefzähner, im Gegensatz zu Geradzähnern oder orthognathen Schädeln. Die Menschenaffen-Schädel übertreffen an Prognathie die Schädel aller Menschenrassen, aber es finden sich unter allen Rassen Schädel, welche, wie Campers Negerschädel, einen Gesichtswinkel von etwa 70° haben; diese nannte man ebenfalls wie die Tierschädel prognath. Gegenwärtig wird bei den Winkelmessungen am Profil der Campersche Gesichtswinkel nicht mehr gemessen, obwohl wir immer noch die Schädel auf ihre Prognathie untersuchen. Wir messen dagegen jetzt den etwas höhere Winkelwerte gebenden Profilwinkel bezogen auf die deutsche Horizontale, und zwar ziehen wir zu seiner Bestimmung von dem Mittelpunkt der Naht zwischen Stirnbein und Nasenbeinen, das heißt der Stirn-Nasennaht, eine Linie (Gesichtslinie) bis zum Mittelpunkt des unteren Randes vom Zahnfortsatz des Oberkiefers, d. h. des Alveolarrandes des letzteren; die Zähne werden dabei also, wie auch bei Camper, nicht mitgemessen (s. Abbildung, S. 388, p). Sehr häufig beruht das Vorspringen der Mundpartien bei dem Menschenschädel lediglich auf einer Schiefstellung des Zahnfortsatzes des Oberkiefers, des Alveolarfortsatzes desselben, während der übrige Kiefer nicht oder schwächer vorgeschoben erscheint. Wir unterscheiden danach die alveolare Prognathie oder nach Sergi Prophatnie, welche nur durch Schiefstellung des Alveolarfortsatzes gebildet wird, von der Mittelgesichts- oder wahren Prognathie, die Sergi ausschließlich Prognathie nennt, und bei welcher, in gewissem Sinne ähnlich wie bei den Menschenaffen und den übrigen Säugetieren, der ganze Kiefer vorgestreckt ist. Die Stellung der Zähne für sich ist auch entweder prognath oder orthognath. Wir sehen z. B. unter den menschenähnlichen Affen, z. B. bei dem Orang-Utan, im erwachsenen Alter trotz sehr starker Prognathie die Zähne doch nahezu senkrecht gegeneinander gerichtet. Es kann daher wahrscheinlich auch bei dem Menschen neben Prognathie des Mittelgesichts alveolare und Zahn-Orthognathie existieren, ein Verhältnis, das man bisher noch wenig beachtet hat.



Schädel und Gesicht eines Europäers von hohem Alter (nach Camper). abc Gesichtswinkel.

Die Messung des Gesichtswinkels erfolgt mit Winkelmessern, Goniometern. Der vom Verfasser konstruierte besteht aus zwei schmalen, parallel in horizontaler und vertikaler Richtung gegeneinander beweglichen schmalen und vorn zugespitzten Linealen aus Stahl. Die Spitzen können an die Meßpunkte angelegt werden und ihre horizontale Verschiebung durch einen Zeiger bestimmt und an einem Gradbogen abgelesen werden (s. obere Abbild., S. 389, Fig. 3 u. 393 oben, Fig. 3).

Schädel, bei denen der Gesamtoberkiefer oder speziell der Alveolarfortsatz desselben, auf die deutsche Horizontale bezogen, sich der senkrechten Stellung annähert, werden, wie oben erwähnt, als „Geradzähner" oder orthognathe von den prognathen Schädeln unterschieden. Beträgt der Winkel, welchen die Gesichts- oder Profillinie mit der deutschen Horizontale bildet, mehr als 90°, ist er also größer als ein rechter Winkel, so bezeichnen wir die Schädel als Übergeradzähner oder hyperorthognath. So haben wir also für den Profilwinkel folgende Hauptstufen:



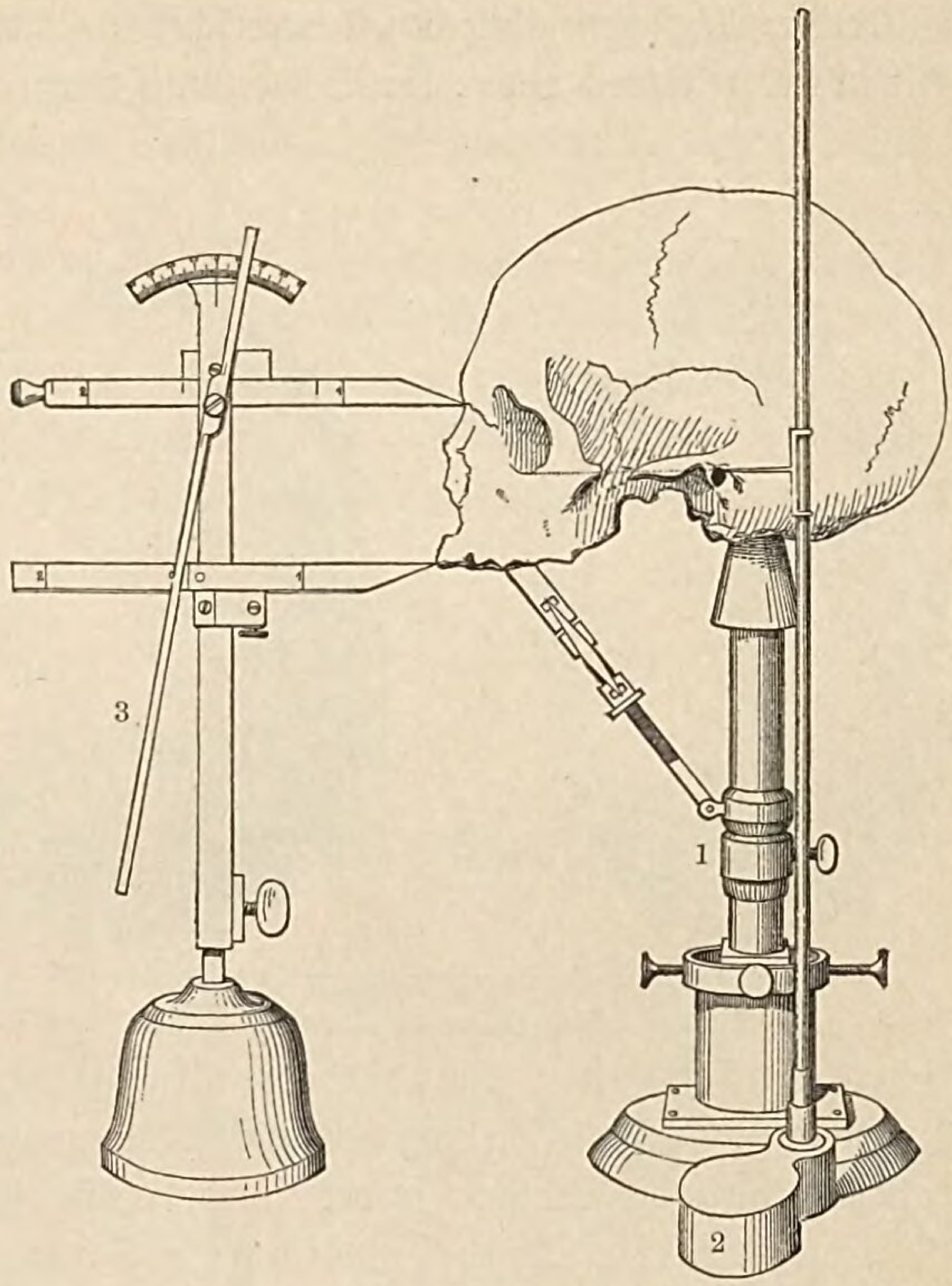
Schädel und Gesicht eines Negers (nach Camper).
abc Gesichtswinkel.

	Neigung der Profillinie zur deutschen Horizontale.
Prognathie (Schiefzähner)	bis 82°
Orthognathie (Geradzähner) . . .	von 83—90°
Hyperorthognathie (Übergeradzähner) .	von 91° und darüber.

Dieselben Stufen gelten auch bei Messung des Alveolarwinkels oder Zahnfortsatzwinkels, der von der Basis des Nasenstachels als oberem Punkt bis zum Mittelpunkt des Unterrandes des Zahnfortsatzes am Oberkiefer gemessen wird. Der Winkel zwischen dem oberen Ansatzpunkt des Profilwinkels an der Stirn-Nasennaht bis zum oberen Ansatzpunkt des Alveolarwinkels an der Basis des Nasenstachels heißt Mittelgesichtswinkel; auch für ihn gilt dieselbe Gliederung in die eben angegebenen Stufen, ebenso für die Stellung der Zähne für sich allein, die man vom Alveolarrand bis zur Schneide mißt.

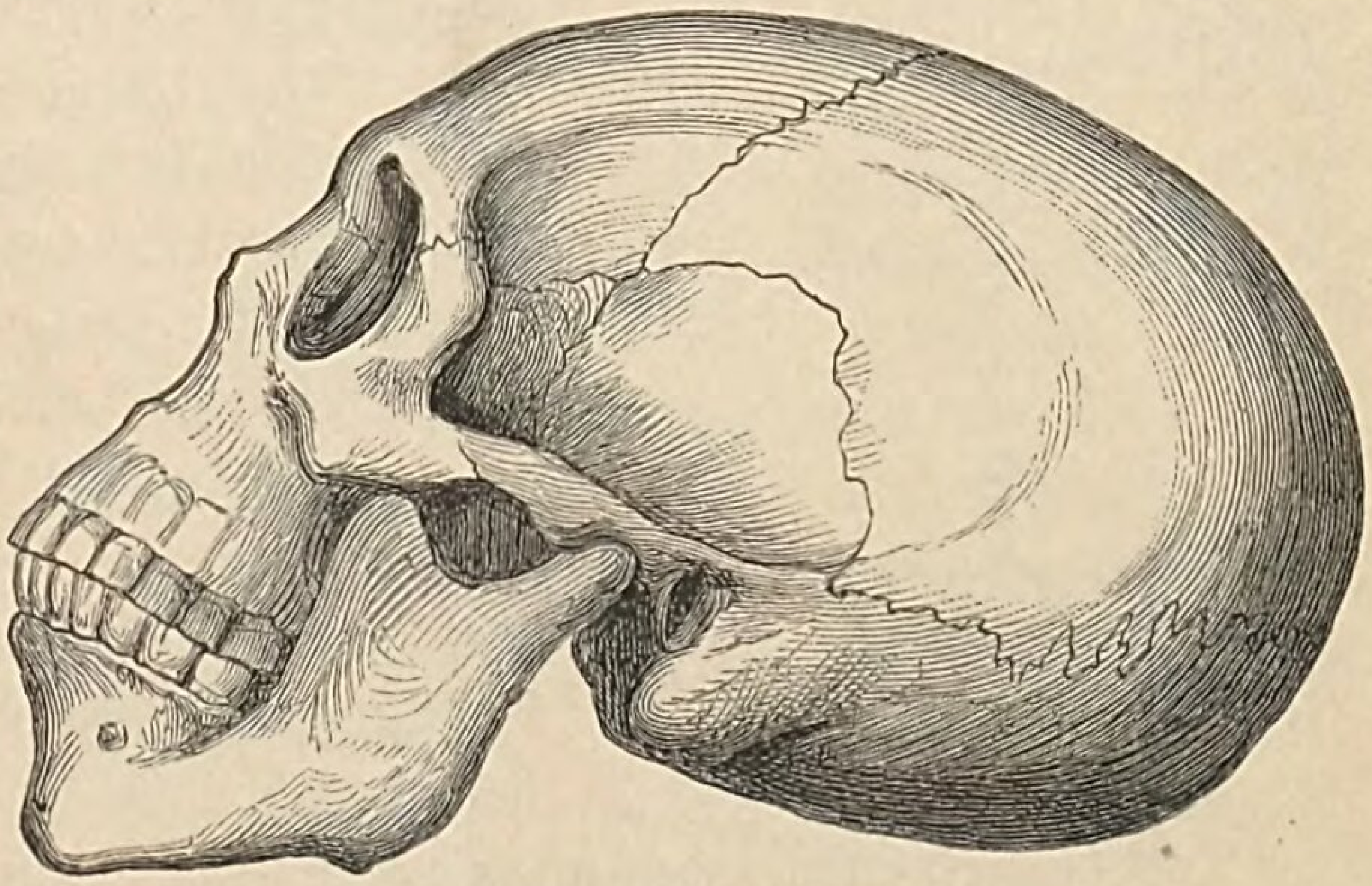
Stellen wir nun einen Schädel im Profil so auf, daß sich sein Hinterhaupt stark senkt, so streckt er seine Kieferpartien entsprechend vor und erscheint dann, wenigstens für eine oberflächliche Betrachtung, viel mehr prognath, als er in Wahrheit ist (s. untere Abbildung, S. 393). Aber für eine wissenschaftliche Betrachtung schadet das doch wenig, da sich ja jeder den Schädel durch Einzeichnen der „Horizontale" sofort richtig stellen kann. Alle geometrischen Schädelabbildungen in vollem Profil, in der Norma lateralis, sind daher für die exakte Vergleichung bei jeder Hori-

zontalstellung benutzbar, da letztere ohne weiteres durch Drehen der Abbildung des Schädels berichtigt werden kann. Ganz anders ist das aber bei den übrigen Schädelansichten. Die Ansicht von oben nicht nur, sondern auch die von hinten und unten und selbst die von vorn, wenn man z. B. die Stirnhöhen mehrerer Schädel vergleichen will, stellen sich verschieden dar, je nachdem man die eine oder die andere Horizontale zur Aufstellung gewählt hat. Exakte Vergleichungen der Abbildungen und Maße der Schädel sind also nur dann möglich, wenn die betreffenden Schädel in der gleichen Horizontale vor der Abbildung und Messung aufgestellt waren. Bei der Profilansicht läßt sich, wie gesagt, die Stellung der Abbildungen nachträglich korrigieren, bei allen übrigen Ansichten ist das aber nicht ausführbar.



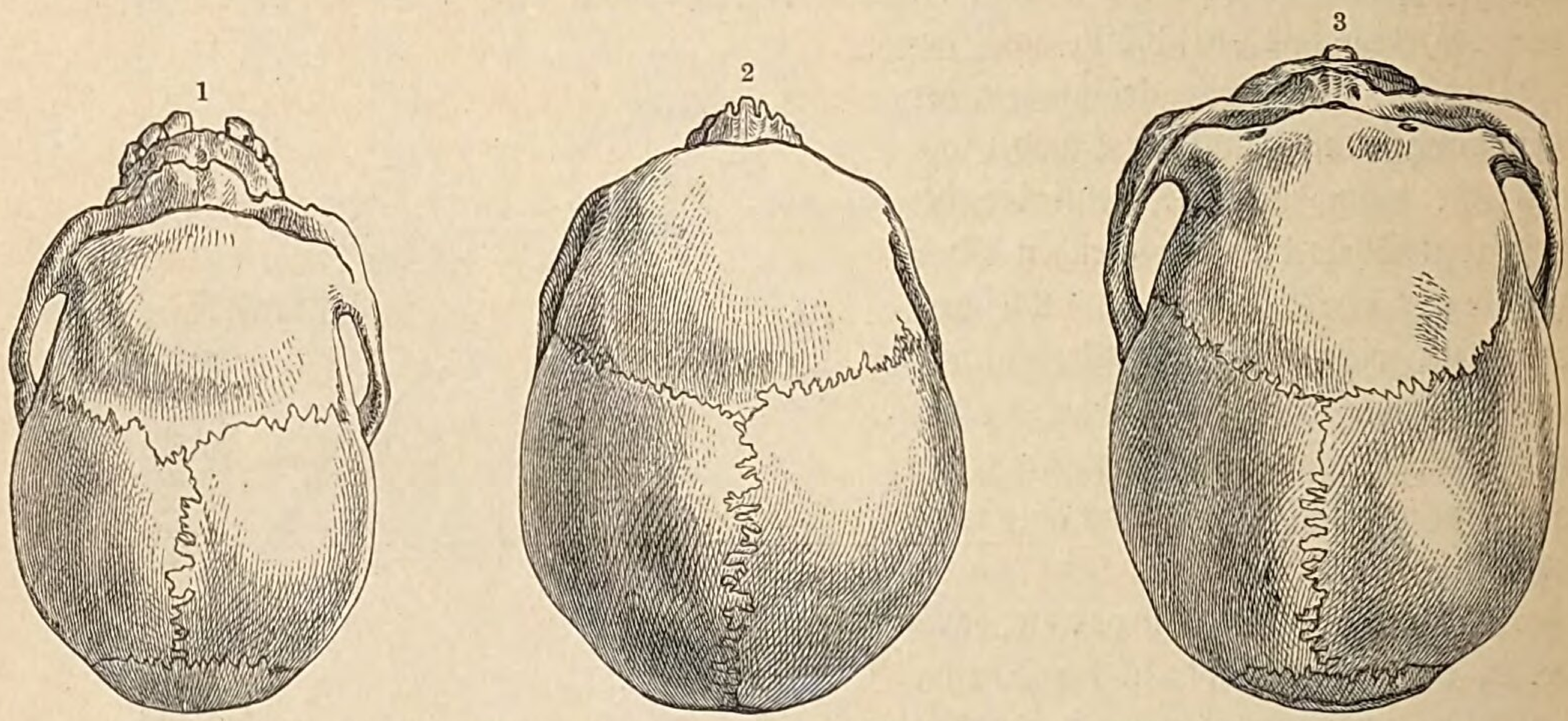
Winkelmessung am Menschenschädel.
1) Spengels Kraniophor, 2) Höhenzeiger, 3) Goniometer.

Während Peter Camper die Schädel in der Profilansicht, in der Norma lateralis, miteinander verglich, wählte Blumenbach für seine „Vergleichung der Schädel auf einen Blick“ die Ansicht von oben und hinten, in der Norma verticalis (s. obere Abbildung, S. 394). Da fiel es nun Blumenbach auf, daß die Menschenschädel weit mehr und sicherer als durch den Camperschen Winkel durch die sehr verschiedene Gestalt des Umrisses ihres Bildes in der Ansicht von oben voneinander unterschieden werden können. Dieser Umriß ist bei allen normalen Menschenschädeln eiförmig, aber bald mehr schmal-, bald mehr breiteiförmig. Außer der Konstatierung dieses höchst auffallenden Unterschiedes prüfte Blumenbach aber jeden Schädel auch noch exakt auf seine Einzelbildungen, namentlich am Gesicht: die Höhe der Stirn und des Scheitels; die Entwickelung der Augenbrauenbogen, der Stirn; den Umriß, die Weite und Tiefe der Augenhöhlen; die Bildung der Nasenbeine, der birnförmigen Nasenöffnung, der Jochbeine; die Breite des ganzen Gesichts; die Stellung der Kiefer und der Zähne; die Gesamtbildung des Unterkiefers und andere.


Negerschädel (falsche Prognathie).

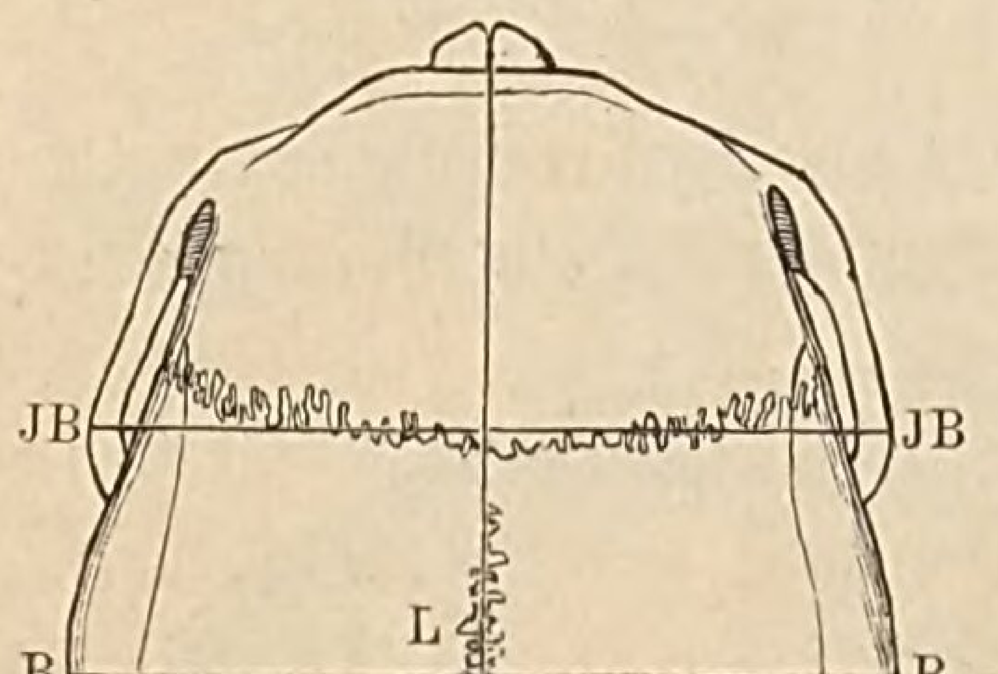
Von all diesen Unterschieden der Schädelbildung, welche Blumenbach namhaft gemacht hatte, war aber ohne weiteres auch für den Nichtanatomen greifbar und darin dem Camperschen Winkel entsprechend die verschiedene relative Breite der Schädel in der Ansicht von oben. Und

das war es daher, was von allen Blumenbachschen Angaben sofort am populärsten wurde. In einer Blumenbach freilich etwas mißverstehenden Weise hat sich diese Vergleichungsmethode bis heute erhalten. A. Retzius in Stockholm hat (1840) die beiden bis dahin exakt meßbaren Unterschiede der Menschenschädel: den Camperschen Gesichtswinkel und die Blumenbachsche Verschiedenheit in der relativen Breite der Schädelansicht von oben, zur Aufstellung des ersten eigent-



Scheitelansicht, Norma verticalis (nach Blumenbach). 1) Neger, 2) Europäer, 3) Kalmücke (s. Text, S. 393).

lichen Systems der Schädelbetrachtung verwertet, eines Systems, welches in seinen Grundzügen bis heute Geltung behauptet. Wir unterscheiden danach mit Blumenbach, je nachdem der Umriß des Schädels in der Norma verticalis, also von oben gesehen, breit- oder schmaleiförmig ist, breite Schädel und schmale Schädel. Um ihre relative Breite in einen exakten Zahlenausdruck zu bringen, messen wir seit Retzius die größte „Länge des Schädels", L, d. h. der Schädelansicht von oben, also die lange Achse des eiförmigen Umrisses, und die größte „Breite des Schädels", B, d. h. der Schädelansicht von oben, senkrecht auf die größte Länge. Indem nun das direkt gewonnene Maß für die „Länge" (z. B. 180 mm) gleich 100 gesetzt wird, wird das direkt gewonnene Maß der „Breite" (z. B. 142 mm) durch einen einfachen Proportionsansatz auf 100 reduziert, die gefundene Zahl wird als Längen-Breitenindex des Schädels bezeichnet. In dem eben gewählten Beispiel ist die Rechnung folgende:



Schädelmessung. L) Größte Länge, BB) größte Breite, JB) Jochbreite.

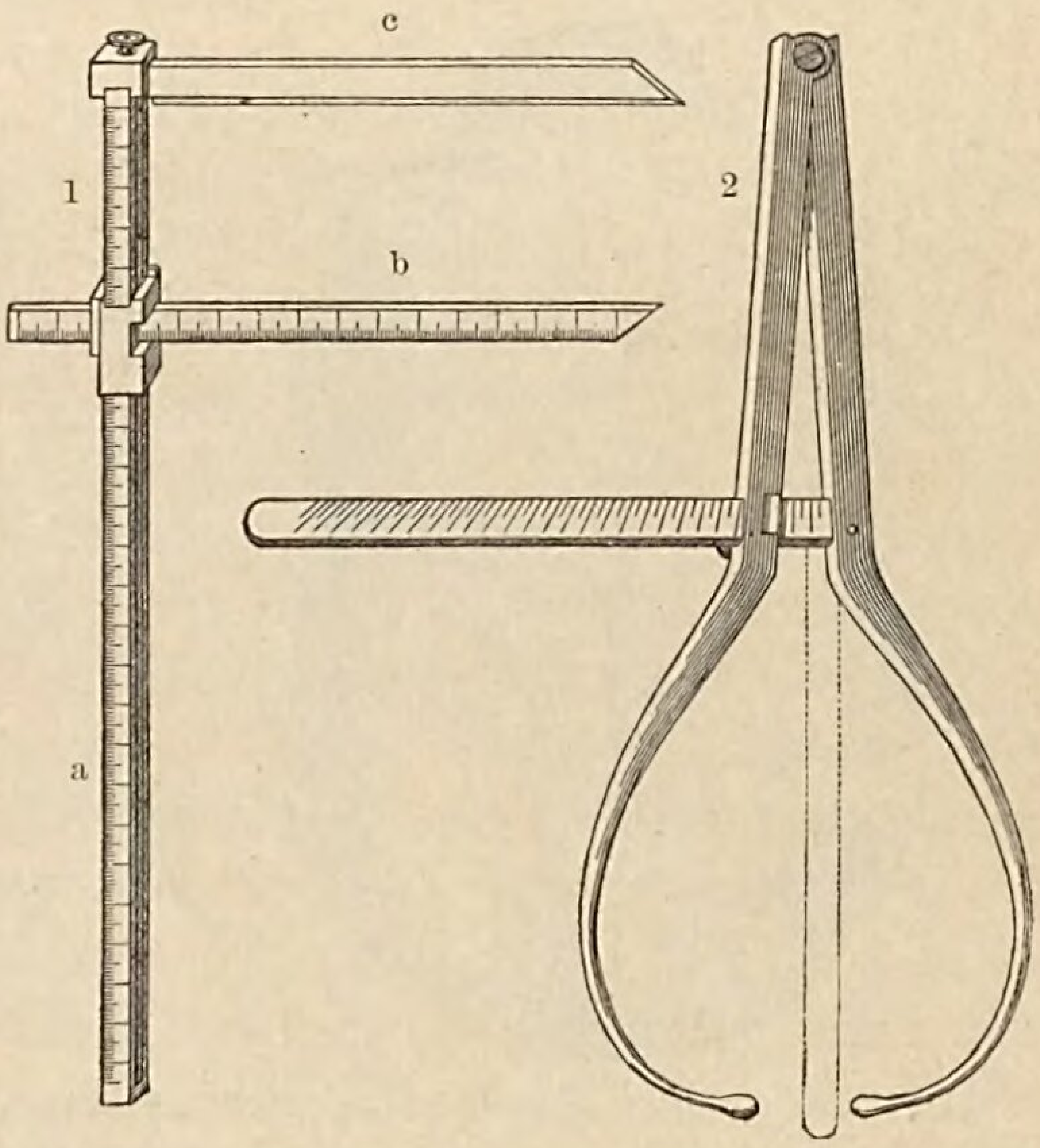
$$\text{Länge} = 180;\ \text{Breite} = 142;\ 180 : 100 = 142 : X \text{ oder}$$
$$X = \frac{142 \times 100}{180} = 78{,}8.$$

Der Längen-Breitenindex dieses Schädels ist also 78,8 (s. nebenstehende Abbildung).

Das Mißverständnis, dessen umstehend Erwähnung geschah, besteht darin, daß Retzius die schmalen Schädel, bei denen also die „Länge" die „Breite" bedeutend überwiegt, als Langschädel (dolichokephale Schädel), dagegen die breiten Schädel, bei denen die „Breite" nur vergleichsweise wenig geringer ist als die „Länge", als Kurzschädel (brachykephale Schädel) benannte, obwohl ja, wie Äby richtig bemerkt, der reale Unterschied nicht sowohl in der größeren oder geringeren Länge, sondern wesentlich in der größeren oder geringeren Breite der Schädel be-

steht. Trotzdem sind die Retziusschen Benennungen überall eingebürgert, für Kurzschädel wird auch der passendere Name „Rundschädel“ hier und da gebraucht. Broca und Welcker trennten von den Langschädeln und Kurzschädeln noch eine mittlere Gruppe in dem soeben angegebenen Sinne, weder entschieden „lang“ noch „kurz“, als Mittellangschädel ab, welche jetzt als Mittelköpfe oder Mesokephalen wissenschaftlich benannt werden. „Länge“ und „Breite“ des Schädels kann sowohl in einer geometrischen Abbildung des Schädels als an diesem selbst durch geeignete Meßinstrumente, Meßzirkel, gemessen werden.

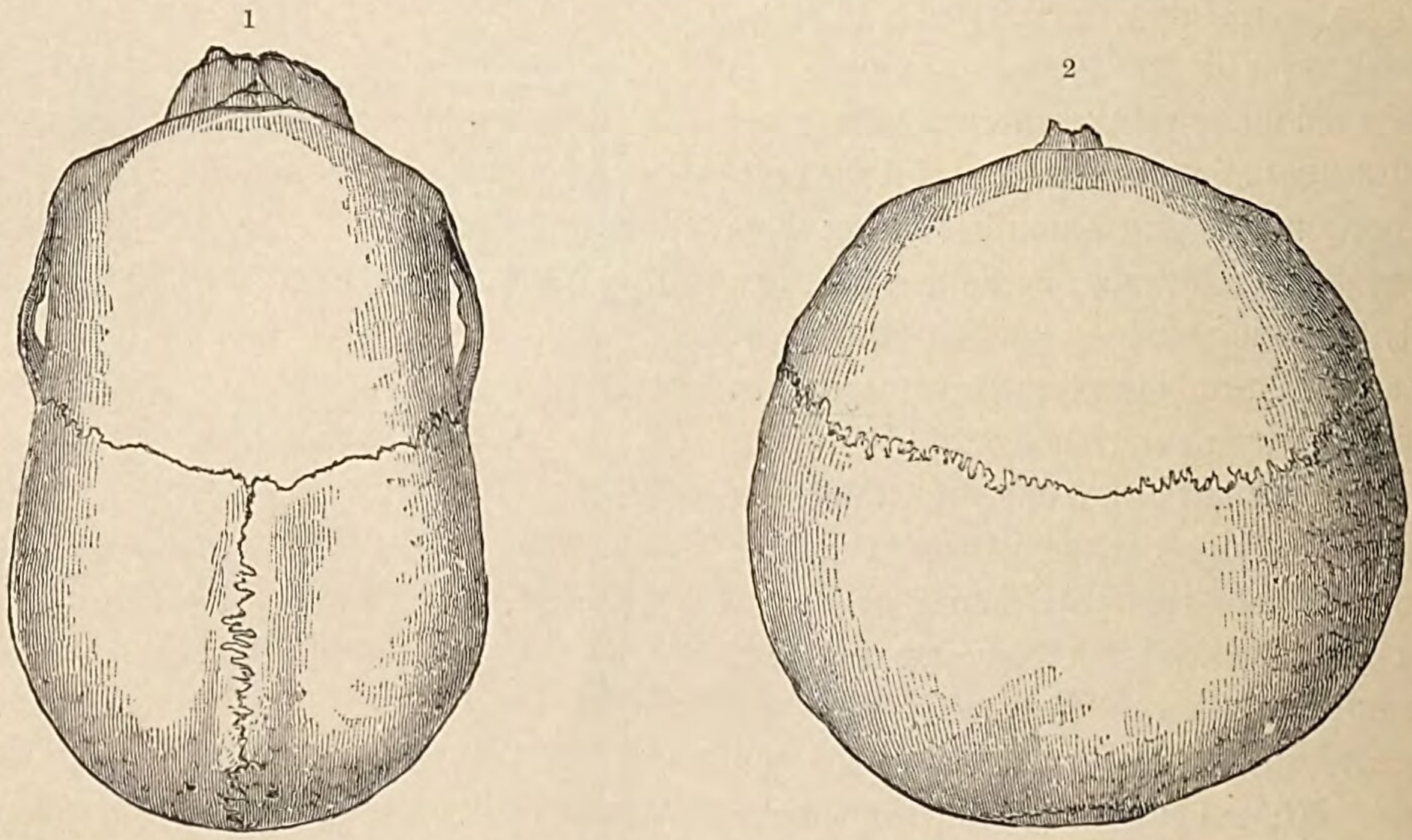
Von vornherein muß daran erinnert werden, daß die anthropologische Messung der Schädel alle an der Schädeloberfläche stärker vorspringenden Leisten und Erhabenheiten für die Hauptmaße als Ausgangspunkte der Messung vermeidet. Für die Längen- und Breitenmessung gelten folgende Meßpunkte. Die Messung der „geraden Länge“ geschieht mit einem Kalibermaß, Schiebezirkel (s. nebenstehende Abbild.), und setzt an in der Mitte zwischen den Augenbrauenbogen (Arcus superciliaris) auf dem Stirn-Nasenwulst (Glabella) zu dem in der Horizontalstellung des Schädels am meisten vorragenden Punkte in der Mittellinie des Hinterhauptes, parallel zur deutschen Horizontale. Fast genau das gleiche Messungsergebnis erhält man, wenigstens bei Kurzköpfen, wenn man von demselben Ausgangspunkt an der Stirn bis zu dem hervorragendsten Punkte am Hinterhaupt ohne Rücksicht auf die Horizontalebene mit dem Tasterzirkel mißt, ein Maß, welches als „größte Länge“ bezeichnet wird und bei den französischen Anthropologen in ausschließlichem Gebrauch ist. Bei den menschenähnlichen Affen wählt man als Ausgangspunkt für die Schädellänge, um von den zum Teil mächtig vorgewulsteten Augenbrauenbogen wegzukommen, die Stirnmitte, d. h. den Mittelpunkt einer die beiden Mittelpunkte der beiden „Stirnhöcker“ verbindenden Linie, und mißt von hier aus, ebenfalls unabhängig von der Horizontalebene, zum hervorragendsten Punkte des Hinterhauptes; es ist das die von Welcker in Aufnahme gebrachte „Intertuberal-Länge“, welche bei der Mehrzahl der Menschenschädel (den Kurzköpfen) von der geraden Länge auch nur ganz unwesentlich verschieden ist. Die „größte Breite“ der Schädel wird senkrecht auf die der Längenmessung entsprechende Vertikalebene mit Schiebe- oder Tasterzirkel gemessen, wo sie sich am Schädel findet, nur der Zitzenfortsatz und die vorspringende, gleichsam eine Fortsetzung des Oberrandes des Jochbogens darstellende Schläfenleiste werden vermieden. Das deutsche Breitenmaß ist identisch mit dem entsprechenden französischen.



1) Virchows Schiebezirkel, 2) Brocas Tasterzirkel.

Die Konstruktion des Tasterzirkels kann als bekannt vorausgesetzt werden, so daß hier die obige Abbildung zum Verständnis genügt. Auch der Schiebezirkel oder Stangenzirkel, welcher die Messungen in horizontaler oder vertikaler Projektion auszuführen gestattet, wird als „Kaliber“ oder „Kaliberzirkel“ in der Technik vielfach verwendet. Virchows Schiebezirkel (s. obige Abbildung, Fig. 1) ist speziell für kraniometrische Zwecke adaptiert. Um ihn für Reisezwecke transportabler zu machen, kann er in mehrere Teile zerlegt werden, der eine Arm (b) ist nicht nur horizontal, sondern auch vertikal verschiebbar. Die Meßleiste (a), welche die beiden Arme trägt,

stellt ein ziemlich massives Rechteck aus Messing dar mit mittlerem Längsschlitz, in welch letzterem der bewegliche Arm (b) verschoben werden kann. Der feststehende Arm (c) ist in seinem unteren Ende eingefalzt, um dem Ende der horizontalen Meßleiste mittels einer Schraube ganz dicht angepaßt zu werden. Der andere bewegliche Arm (b) steckt in einem horizontal verschiebbaren Schlitten, welcher auf die Meßleiste (a) aufgeschoben wird; dieser bewegliche Arm ist in eine seinem Querschnitt entsprechende eckige Öffnung so eingesetzt, daß er seitlich nicht auszuweichen vermag, dagegen ist er in der Vertikalrichtung in dem Schlitten beweglich, er kann also verkürzt und verlängert werden. Beide Arme sind an ihren beiden freien Enden stumpfspitzig, nach innen haben sie eine ziemlich scharfe Kante, so daß sie genau nur an einem Punkte beim Anlegen den Schädel berühren. Die horizontale Entfernung der beiden Arme kann an einer Maßeinteilung der Meßleiste direkt abgelesen werden, ebenso die vertikale Länge des beweglichen Armes an einer auf ihm selbst angebrachten Maßeinteilung. Der Stangenzirkel von Hölders ist ganz ähnlich, aber wesentlich



Extreme Schädelformen: 1) Langschädel (dolichokephaler Schädel), 2) Kurzschädel (brachykephaler Schädel). (Nach Huxley.)

leichter konstruiert. Die beiden Arme der Stangenzirkel haben die Entfernung zweier Punkte in Projektion auf die Horizontalebene zu messen, die Meßleiste ist daher beim Messen stets horizontal oder vertikal zur Horizontale zu halten.

Nach ihrer zunehmenden relativen Breite, d. h. nach dem verschiedenen Längen-Breitenindex, ordnen wir die Schädelformen in folgende Stufen, jede fünf Index-Einheiten umfassend, nach der von Frankreich und England angeregten, jetzt von allen Kraniologen der Welt angenommenen internationalen Verständigung vom März 1886:

Längen-Breitenindex $\left(\frac{100 . \text{Breite}}{\text{Länge}}\right)$

I. Dolichokephale Hauptgruppe:	1) 55,0—59,9;
	2) 60,0—64,9 Ultra-Dolichokephale;
	3) 65,0—69,9 Hyper-Dolichokephale;
	4) 70,0—74,9 Dolichokephale.
II. Mesokephale Hauptgruppe:	5) 75,0—79,9 Mesokephale.
III. Brachykephale Hauptgruppe:	6) 80,0—84,9 Brachykephale;
	7) 85,0—89,9 Hyper-Brachykephale;
	8) 90,0—94,9 Ultra-Brachykephale;
	9) 95,0—99,9.

Um diese Unterschiede anschaulich zu machen, geben wir auf S. 396 die Abbildungen eines extremen Langschädels und eines extremen Kurzschädels nach Huxley. Die Mesokephalie liegt zwischen beiden Extremen.

Das Retziussche System der Schädelbetrachtung verbindet, wie gesagt, die Verschiedenheiten in der Länge und Breite der Schädel mit den Verschiedenheiten in dem Camperschen Gesichtswinkel, dadurch kommt man zu den folgenden vier oder, wenn wir sofort die Mesokephalie mit in Rechnung ziehen, sechs Hauptschädelformen:

schiefzähnige Langköpfe	= prognathe Dolichokephalen,
geradzähnige "	= orthognathe "
schiefzähnige Mittellangköpfe	= prognathe Mesokephalen,
geradzähnige "	= orthognathe "
schiefzähnige Kurzköpfe	= prognathe Brachykephalen,
geradzähnige "	= orthognathe "

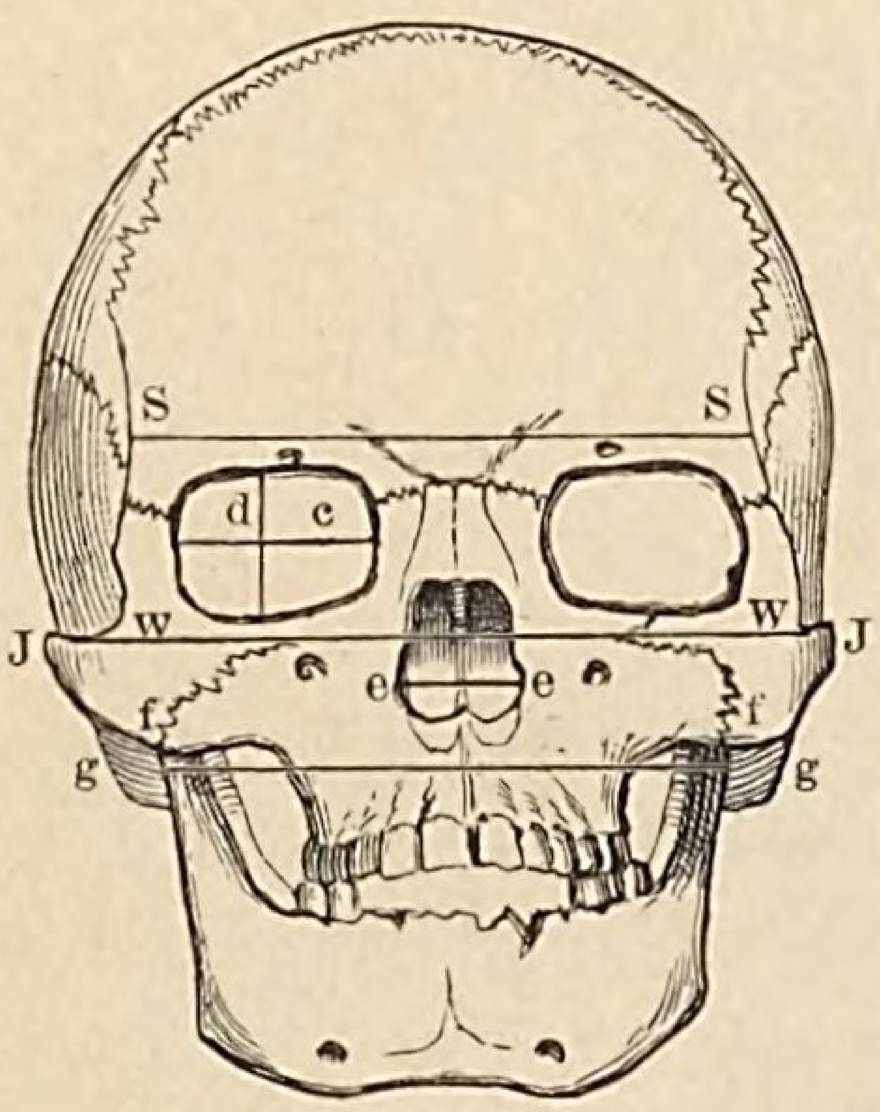
Um die Zugehörigkeit eines Schädels zu einer dieser Gruppen ziffermäßig festzustellen, waren nur drei Messungen nötig: Länge und Breite der Schädelkapsel und Bestimmung des Gesichtswinkels. Die Sache erschien, da sich die Differenzen in einfachen Zahlen ausdrücken ließen, recht exakt und dabei nicht weniger bequem. Da bedurfte es nicht mehr des anatomisch geschulten Auges etwa eines Blumenbach, um die Schädeldiagnosen zu machen, diese waren zu einem höchst einfachen Rechenexempel geworden. Das sind die gleichen Gründe, welche das Linnésche System der Botanik so rasch und dauernd, ebenfalls von Schweden aus, in der ganzen Welt einbürgerten. Das Retziussche Schädelsystem ist ebensowenig wie das letztere ein natürliches, sondern ein künstliches. Und wie die moderne Botanik von dem künstlichen System zu einem natürlichen System fortschritt, so erfolgt der gleiche Prozeß nun auch in der Kraniologie, der Schädelkunde. Der Weg dazu war zunächst der, daß man neben den Retziusschen Hauptmerkmalen auch noch nach weiteren, feineren Unterschieden suchte. Wir würden übrigens Retzius Unrecht thun, wenn wir nicht anerkennen wollten, daß er selbst das Bedürfnis verspürte, auch in feinere Differenzen der Schädelbildungen einzudringen. Seine speziellen Beschreibungen der skandinavischen Schädelformen sind sogar so treffend, daß man die gleichen Formen unter Bevölkerungen anderer Gegenden und Zeiten mit Sicherheit wiederzuerkennen vermochte. Er deutet selbst an, daß man noch weitere Unterschiede, als er sie zur Einteilung der Gruppen benutzte, für die Schädeldiagnose auch ziffermäßig würde verwerten können. Der Fortschritt der modernen Schädellehre basierte auch wirklich zuerst darauf, daß, was Blumenbach schon schätzungsweise über die Größendifferenzen einzelner Schädelteile und Proportionen am Schädel festzustellen versucht hatte, von Virchow, Welcker, Ecker, His und Rütimeyer, Hölder und anderen in Deutschland, in Frankreich namentlich durch einen so ausgezeichneten Forscher wie Broca, den Begründer der neuen französischen anthropologischen Schule, ebenfalls ziffermäßig festgestellt wurde. Bezeichnungen, welche nur ein Mehr oder Weniger ausdrücken, welche jeder anders verstehen konnte und nach seinem speziellen Beobachtungsmaterial anders verstehen mußte, wurden in Ziffern übersetzt, die eine exakte Vergleichung zuließen.

Eine der wichtigsten weiteren Messungen, welche jetzt in diesem Sinne an Schädeln ausgeführt werden, ist die Bestimmung der Schädelhöhe. Sie wird nach Virchow gemessen mit dem Tasterzirkel von dem Mittelpunkt des vorderen Randes des großen Hinterhauptsloches senkrecht zur deutschen Horizontale bis zu dem in der Normalstellung des Schädels höchsten Punkte des Scheitels (s. obere Abbildung, S. 388). Wird in derselben Weise, wie oben der Längen-Breitenindex auf die individuelle Länge des Schädels = 100, die individuelle Höhe des Schädels berechnet, so erhalten wir den Längen-Höhenindex mit folgenden Stufen:

	Längen-Höhenindex $\left(\frac{100 \,.\, \text{Höhe}}{\text{Länge}}\right)$
Flachschädel (Chamäkephalie)	bis 70,0,
Mittelhochschädel (Orthokephalie) . . .	von 70,1—75,0,
Hochschädel (Hypsikephalie)	von 75,1 und darüber.

Das Maß vom Mittelpunkt des oberen Randes des Gehörganges aus senkrecht zur deutschen Horizontale bis zum höchsten Punkte des Scheitels mit dem Schiebezirkel gemessen gibt die Ohrhöhe.

Auch die relative Breite des Gesichts wird bestimmt, und zwar teils in der Art, daß die weiteste Ausbauchung der Jochbogen, die „Jochbogenbreite", gemessen wird (s. nebenstehende Abbildung und S. 394, JB), oder als eigentliche „Gesichtsbreite" nach Virchow die Entfernung der beiden Oberkiefer-Jochbeinnähte von dem unteren vorderen Rande des einen Wangenbeines bis zu demselben Punkte des anderen, oder drittens nach von Hölder die Entfernung der beiden inneren Jochbeinwinkel voneinander (Entfernung zwischen W und W der nebenstehenden Abbildung). Diese Gesichts- oder Jochbreite wird in ähnlicher Weise, wie bei der Berechnung des Schädelindex verfahren wird, mit der Gesichtshöhe in zahlenmäßige Relation gebracht. Die Gesichtshöhe ist die Entfernung der Mitte der Stirn-Nasennaht bis zur Mitte des unteren Randes des Unterkiefers, also mit Einschluß der Zähne (f der Abbildung). Man berechnet dann, indem die individuelle Jochbreite oder Gesichtsbreite = 100 gesetzt wird, aus ihr und der Gesichtslänge einen Gesichtsindex mit folgenden Stufen:



Schädelmessung.
W) Jochbeinwinkel, SS) kleinste Stirnbreite, c) Augenhöhlenbreite, d) Augenhöhlenhöhe, ee) Nasenbreite, f) Oberkiefer-Jochbeinnaht, gg) Virchow's Gesichtsbreite, JJ) Jochbreite.

	Gesichtsindex $\left(\frac{100 \,.\, \text{Gesichtshöhe}}{\text{Gesichtsbreite}}\right)$
Niedrige oder breite Gesichter (Brachyprosopie oder Chamäprosopie) .	bis 90,0
Hohe oder schmale Gesichter (Dolichoprosopie oder Leptoprosopie) . .	von 90,1 und darüber.

Die Abgrenzung einer mesoprosopen Gruppe bleibt noch vorbehalten.

Will oder muß man von der Messung des Unterkiefers und der Zähne, wenn diese fehlen, absehen, so mißt man zum Vergleich mit der Joch- oder Gesichtsbreite lediglich das Mittelgesicht oder Obergesicht: von dem Mittelpunkt der Stirn-Nasennaht bis zum Mittelpunkt des Unterrandes des Zahnfortsatzes, Alveolarfortsatzes des Oberkiefers, und berechnet in entsprechender Weise, die individuelle Gesichtsbreite = 100 gesetzt, den Mittel- oder Obergesichtsindex mit den Stufen:

	Obergesichtsindex $\left(\frac{100 \,.\, \text{Obergesichtshöhe}}{\text{Obergesichtsbreite}}\right)$
Niedrige oder breite Obergesichter (Brachyprosopie derselben). . .	bis 50,0
Hohe oder schmale Obergesichter (Dolichoprosopie derselben) . . .	von 50,1 und darüber.

Sergi hat hier eine Mittelgruppe von Mesoprosopen eingeschoben, welchen er einen Mittelgesichtsindex von 48—52 zuteilt.

Außerdem werden auch die Hauptdimensionen der Augenhöhleneingänge, der knöchernen Nase, des knöchernen Gaumens gemessen und aus den Maßen Indices berechnet.

An dem Augenhöhleneingang wird als Breite entweder die größte Breite von der Mitte des inneren Randes der Augenhöhle bis zum äußeren Rande derselben oder von demselben inneren Ausgangspunkt aus parallel zur deutschen Horizontale bis zum gegenüberliegenden Punkte des äußeren Augenhöhlenrandes gemessen. Die Höhe der Augenhöhle wird gemessen von dem

Mittelpunkt des Unterrandes der Augenhöhle je senkrecht auf eine der eben beschriebenen Augenhöhlenbreiten. Aus Breite und Höhe wird wieder ein Index, der Augenhöhlenindex, berechnet mit folgenden Stufen:

Augenhöhlenindex $\left(\frac{100 \,.\, \text{Augenhöhlenhöhe}}{\text{Augenhöhlenbreite}}\right)$

Niedrige Augenhöhlen (Chamäkonchie) . . .	bis 80,0
Mittelhohe Augenhöhlen (Mesokonchie) . . .	von 80,1 — 85,0.
Hohe Augenhöhlen (Hypsikonchie)	von 85,1 und darüber.

Bei der knöchernen Nase wird als Nasenhöhe die Entfernung von der Mitte der Stirn-Nasennaht bis zur oberen Fläche des Nasenstachels oder bis zum tiefsten Rande der birnförmigen Nasenöffnung, als Breite wird die größte Breite der Nasenöffnung horizontal gemessen. Der daraus berechnete Nasenindex gliedert sich folgendermaßen:

Nasenindex $\left(\frac{100 \,.\, \text{Breite der Nasenöffnung}}{\text{Nasenhöhe}}\right)$

Schmalnasen (Leptorhinie)	bis 47,0
Mittelbreitnasen (Mesorhinie)	von 47,1 — 51,0.
Breitnasen (Platyrhinie)	von 51,1 — 58,0.
Überbreitnasen (Hyperplatyrhinie)	von 58,1 und darüber.

Auch an dem knöchernen Gaumen wird Länge und Breite bestimmt. Die Gaumenlänge reicht von der Spitze des hinteren Gaumenstachels bis zur inneren Wand des Zahnfortsatzes, Alveolarfortsatzes, des Oberkiefers zwischen den mittleren Schneidezähnen. Als Gaumenbreite wird die Gaumenmittelbreite zwischen den inneren Zahnfortsatzrändern oder Alveolarwänden an den zweiten Molaren oder wahren Mahlzähnen, gemessen und als Gaumenendbreite die Entfernung der beiden hinteren Endpunkte der inneren Zahnfortsatzränder, Alveolarränder. Aus Gaumenlänge (= 100) und Gaumenbreite berechnen wir dann den Gaumenindex mit den Stufen:

Gaumenindex $\left(\frac{100 \,.\, \text{Gaumenbreite}}{\text{Gaumenlänge}}\right)$

Schmalgaumen (Leptostaphylinie)	bis 80,0
Mittelbreitgaumen (Mesostaphylinie)	von 80,1 — 85,0.
Breitgaumen (Brachystaphylinie)	von 85,1 und darüber.

Außer den angeführten Messungen werden nun aber von verschiedenen Kraniologen noch eine beträchtlich größere Anzahl von Maßen am Schädel abgenommen, von A. von Török z. B. 5000, und daraus Indices berechnet, je nach den verschiedenen zu bearbeitenden Fragen andere. Besonders wird die Ausbildung der Stirn, ob sie nach hinten fliehend, d. h. schräg oder steil ansteigend, hoch oder niedrig ist, ob und wie die Augenbrauenbogen oder der Stirn-Nasenwulst ausgebildet ist ꝛc., in Betracht und Messung gezogen, dann die innere Entfernung der Augenhöhlen voneinander, die Breite der Nasenwurzel, die Stellung und Wölbung der Nasenbeine, die Stellung und Wölbung der Jochbogen, die Tiefe der Wangengruben, der Unterrand der Nasenöffnung, die spezielle Ausbildung der Zähne sowie die des Unterkiefers. Außer dem Profilwinkel und seinen beiden oben dargestellten Abschnitten, Mittelgesichtswinkel und Zahnfortsatz- oder Alveolarwinkel, werden noch zahlreiche andere Winkel am Schädel, auch alle auf die deutsche Horizontale bezogen, abgenommen: Stirnwinkel, Hinterhauptswinkel, der Winkel, welchen die Linie der größten Augenhöhlenbreite, dann die Gaumenplatte, der Basilarteil des Hinterhauptsbeines, der Clivus, Oberfläche des Siebbeines, respektive der Siebbeinplatte, Oberfläche und Achse des Keilbeines und die Fläche des großen Hinterhauptsloches mit der Horizontale bilden, der Kinnwinkel, der Winkel zwischen aufsteigendem Aste des Unterkiefers und Körper desselben und andere. Man sucht durch

alle diese Messungen und Relationen (Indices) die gesamte individuelle Gestalt des Schädels gleichsam auf einen mathematischen Ausdruck zu bringen, der freilich, ganz anders wie die Retzius-schen Schädelformeln, nur noch dem vollkommen Eingeweihten verständlich werden kann.

Die neuere typologische Methode der Schädelbeschreibung, welche wieder auf Blumenbach zurückgeht, werden wir bei der Kraniologie der Menschenrassen kennen lernen.

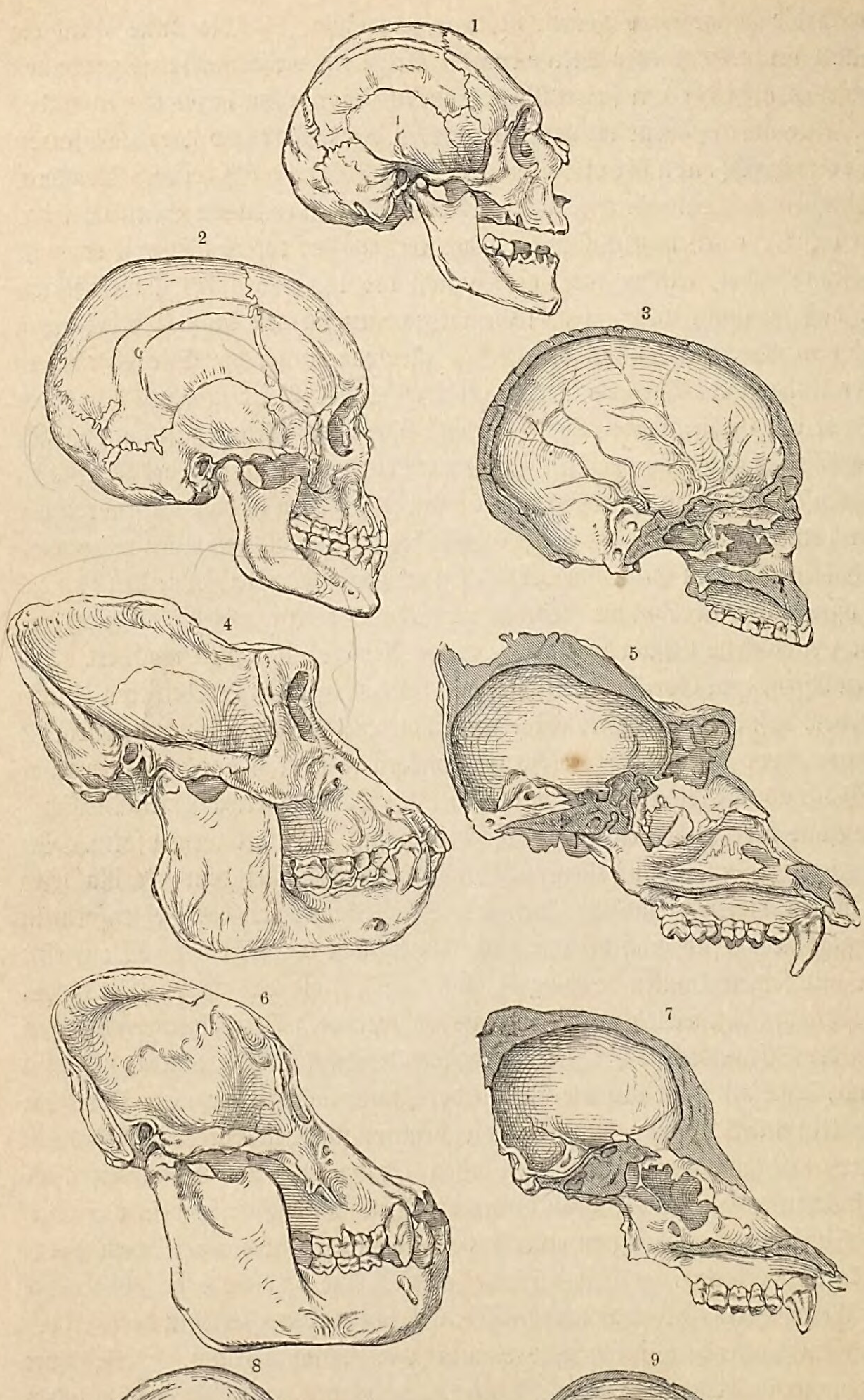
Die Schädelbildung der menschenähnlichen Affen.

Es ist eine alt- und allbekannte Thatsache, daß die Menschenähnlichkeit der höchststehenden Affen sich vornehmlich in der Bildung des Kopfes ausspricht. Namentlich bei ganz jugendlichen Tieren sind die Ähnlichkeiten mit der Menschenbildung gewiß für jeden Unbefangenen in hohem Grade auffallend. Vor allem gilt das für den jungen Orang-Utan, das Tier, in welchem Europa zuerst ein wahrhaft menschenähnlicher Affe vorgestellt wurde. Aber auch beim Gorilla und Schimpanse ist die Menschenähnlichkeit in der frühen Jugend kaum weniger groß, und erst mit dem erwachsenen Alter bildet sich aus dem greinenden, zärtlichen Affenkinde die zähnefletschende, wütende Bestie aus. „Wie lehrreich ist der Eindruck", sagt Rütimeyer, „daß alle diese Affen denn doch und sonderbarerweise der Asiate, der Orang-Utan, der schließlich weit zuhinterst bleibt, voran mit einem mächtigen Anlauf nach Höherem beginnen, von dem sie aber bald abstehen, sobald die materiellen Sorgen, der Erwerb des täglichen Brotes, und wahrscheinlich noch mehr, sobald das Bedürfnis, die Fortpflanzung zu sichern, erwacht. Es scheint, als ob der bittere Kampf ums Dasein sowohl des Individuums als der Spezies, d. h. die Sorge um Nahrung und Fortpflanzung, die Hoffnungen gerade zerstörte und die Blüten knickte, welche der Jugendzustand uns vorlegt, und man fragt sich, was müßte aus den jugendlichen Köpfen werden, wenn der Kampf nicht bloß dem Dasein, sondern auch dem Fortschritt gelten dürfte. Kennt denn nicht jeder Anatom Menschenschädel", fährt Rütimeyer in etwas sentimentaler Übertreibung fort, „oder haben wir nicht alle häufig Mitbrüder unserer eigenen Spezies Mensch gesehen, welche, und sicher in vielen Fällen wieder durch den bitteren Kampf ums Dasein, von einer sicher höheren Stufe als der Orang ausgegangen, am Ende ihres Lebens dann gerade da anlangten, wo der Orang begann? Wie deutlich spricht aus der Schädelentwickelung der menschenähnlichen Affen nach der Geburt, daß allerdings der Kampf ums Dasein tierische Prädikate, materielle Hilfsmittel des organischen Lebens vervollkommt, Muskeln stärkt, Zähne kräftigt, selbst Sinnesorgane zu entwickeln scheint, allein, wenn er zu hart ist, dann doch auf Kosten des Gehirnes, und daß er nicht viel Unvergängliches zu stande brächte, wenn nicht noch eine nie versiegende Quelle unbekannter Herkunft da wäre, welche der Jugend immer und immer wieder die Mittel schenkt, im Wettlauf nach Höherem die Eltern doch zu übertreffen. Muß nicht jeder, der den Kopf eines sehr jungen mit dem eines vollkommen erwachsenen Orang-Utan vergleicht, traurig ausrufen: was ist aus dir geworden! Und erinnert er sich nicht mit Schmerzen, was er selbst an bestem und zukunftreichstem, weil echt schöpferischem Menschengut, an Phantasie und Poesie, besaß, da er noch Kind war und den Kampf ums Dasein nicht kannte? Es muß also wohl — und hier ist es am Platze, es auszusprechen — zum Kampfe ums Dasein, an dessen Wirkungen niemand mehr zweifeln wird, noch etwas Ferneres kommen, was diesen selbst siegreich überwindet, ein Drang nach vorwärts, eine Triebfeder, welche aller Schöpfung per aspera ad astra (auf rauhem Wege zu den Sternen) forthilft." So weit diese von wahrer Poesie durchwehten Vergleiche des hochverdienten Forschers.

So interessant auch die Frage im einzelnen ist, und so wichtige Gesichtspunkte durch die Vergleichung der Schädel der verschiedenen Menschenaffen-Arten für die Wissenschaft gewonnen werden, so ist hier doch noch nicht der Ort für eine vollkommene Erörterung dieses Gegenstandes (weiteres in Band II). Für unsere Zwecke müssen wir zunächst den Schädel des erwachsenen Mannes mit dem des erwachsenen Gorilla vergleichen. Während sich bei dem Menschen, auch bei seinen am wenigsten hoch entwickelten, aber noch normalen Formen die Stirn über das Gesicht erhebt, so daß dieselbe einen wesentlichen Teil des Gesichts bei der Ansicht von vorn für die künstlerische Betrachtung bildet, tritt in der Vorderansicht des knöchernen Gorillagesichts die Stirn so weit zurück, daß sie kaum mehr zu dem Gesicht gezogen werden kann (s. Abbildung, S. 402, Fig. 4). Bei dem Menschen schlüpft das Gesicht gleichsam unter die Stirn herab, es erscheint als ein unterer Anhang der Vorderhälfte des Gehirnschädels. Bei dem Gorilla dagegen lagert sich das Gesicht vor den Gehirnschädel, der seinerseits hinter das Gesicht fast ganz zurückschlüpft. Das große, gewiß bis zu einem gewissen Grade menschenähnliche Gesicht des Gorilla ist wie eine Maske vor den kleinen Gehirnschädel gehängt und von letzterem in hohem Grade unabhängig. Man kann durch einen Querschnitt das ganze Gesicht des Gorilla bis auf einen minimalen engen Rest der Augenhöhlen von dem Gehirnschädel vollkommen wegschneiden, ohne den Innenraum des Schädels zu öffnen. Die tierähnliche Kleinheit der Schädelkapsel wird lediglich durch das ihr vorgehängte, mächtig entwickelte Gesicht zu einer gewissen Menschenähnlichkeit maskiert. Bei dem menschenähnlichsten Affen, dem Gorilla, tritt schon das bei den niederen Wirbeltieren so auffallende Verhältnis hervor, daß der ganze Hirnschädelbau nicht, wie bei dem Menschen, durch die Entwickelung des Gehirns, vor allem des Großhirns, sondern wesentlich durch die gewaltige Muskulatur des Gesichts und des Nackens bedingt erscheint. Bei dem erwachsenen Menschen entspricht die äußere Gestalt der knöchernen Gehirnkapsel noch fast ganz der Gehirnform. Bei den niedrigeren Säugetieren, aber in auffallendem Grade auch schon bei dem Gorilla wird dagegen bei den erwachsenen Tieren die äußere Form der Schädelkapsel von der Gehirnform in hohem Grade unabhängig. Während auch bei ihnen die Innenfläche der Schädelkapsel wie eine Gußform das Gehirn mit seinen Häuten ꝛc. umgibt, bilden sich, wie das Nathusius vom Schweine vortrefflich beschrieben hat, weite und ausgedehnte Hohlräume, z. B. zwischen den äußeren und inneren Glastafeln der Schädeldeckknochen, welche der Schädelaußenfläche gestatten, sich, dem Muskelzuge entsprechend, ohne Rücksicht auf die Gestalt der Innenfläche zu formen. Unter der Einwirkung der Kaumuskeln und Nackenmuskeln sehen wir, beim männlichen Gorilla am stärksten, aber auch bei den anderen wahrhaft menschenähnlichen Affen (Orang-Utan und Schimpanse), die äußere Oberfläche der knöchernen Gehirnkapsel sich in der der Pfeilnaht entsprechenden, von vorn nach hinten laufenden Mittellinie kammartig zu einer hohen, schmalen Knochenleiste, dem Pfeilnahtkamm (Sagittal-Crista), erheben, und noch mächtiger tritt eine das Ende des Pfeilnahtkammes kreuzende, in ihrem Verlaufe der Lambdanaht entsprechende Knochenleiste hervor, der dem Nackenmuskelansatz entsprechende Hinterhaupts-Kamm (Lambdanaht-Crista). Diese sofort auffallenden Bildungen unterscheiden den großen, schweren Schädel des erwachsenen männlichen Gorilla schon weit von dem des erwachsenen Mannes. Die Differenzen treten aber nicht weniger bei der eingehenden Vergleichung aller Einzelheiten hervor. In klassischer Kürze stellt Gegenbaur, ein Meister in der vergleichend-anatomischen Betrachtung, die Differenzen zwischen Menschen- und Affenschädel dar. Wir folgen in dem nachstehenden diesem anerkannten Führer, ohne doch dabei andere Untersuchungen unberücksichtigt zu lassen.

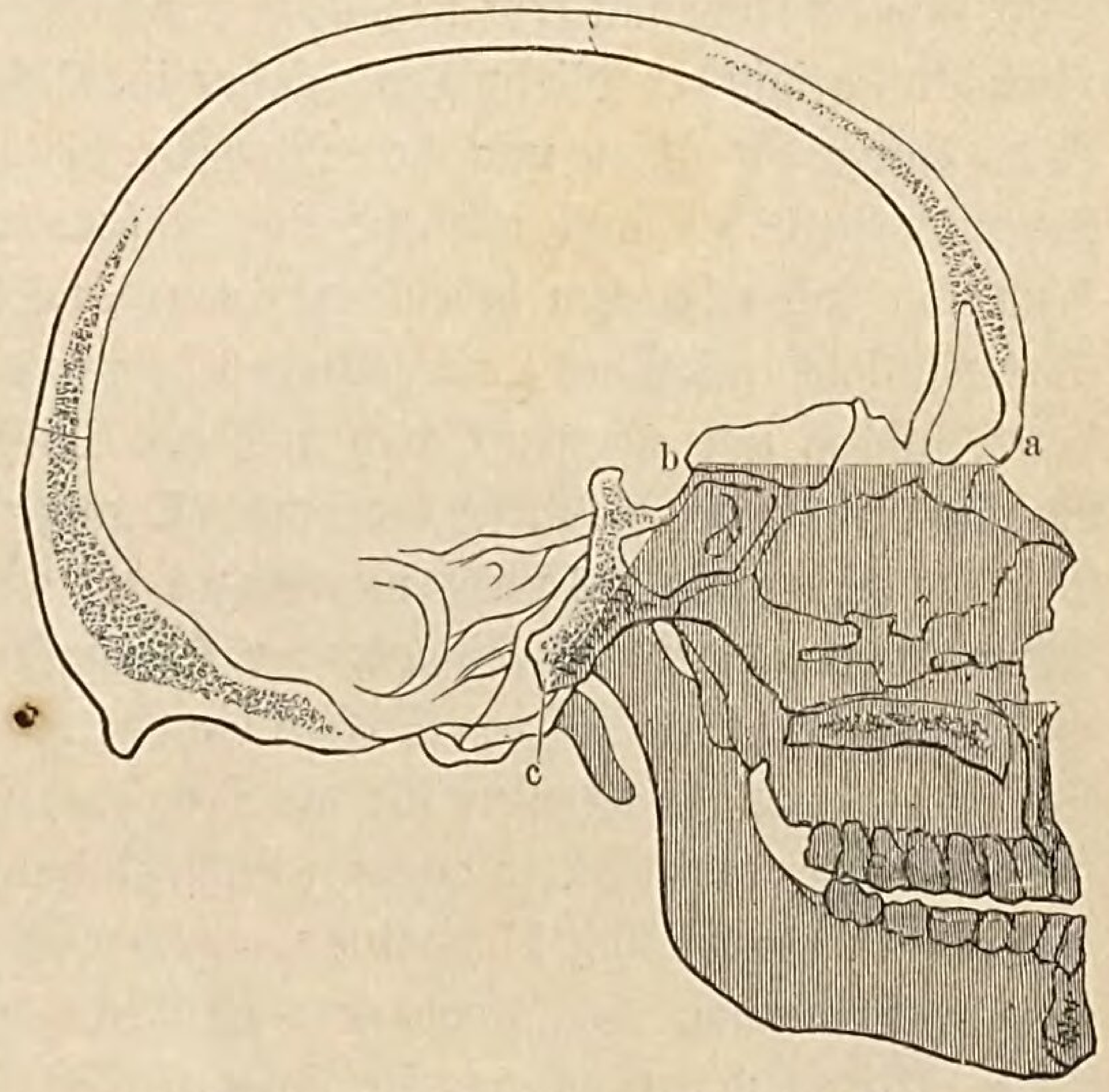
„Die Besonderheiten der Organisation des menschlichen Körpers“, sagt Gegenbaur, „finden an keinem Teile des Skelets einen so prägnanten Ausdruck wie am Schädel. Dies gründet sich auf die Fülle der Beziehungen, welche am Kopfskelet zu anderen mit ihm

verbundenen Organen besteht. Da treten die beiden ältesten Beziehungen des Kopfskelets als die einflußreichsten Faktoren hervor: die Beziehungen zum Gehirn und den Sinnesorganen wie jene zum Darmsystem, dessen Eingang vom Kopfskelet umschlossen wird. Diese beiden Faktoren verteilen sich auf die beiden großen Abschnitte des Schädels, schließen da aber nicht ab, sondern der Einheit des Ganzen gemäß greift der eine auf den anderen über und beeinflußt somit auch entfernter gelegene Teile. Daß die Hirnkapsel des Schädels dem Volumen und der Gestalt des Gehirns sich anpaßt, lehrt die Entwickelung dieser Teile. Die geringere Entfaltung des Gehirns selbst bei den sogenannten menschenähnlichen Affen läßt den ganzen Hirnteil gegen den Antlitzteil zurücktreten und verleiht ebendadurch dem letzteren die auffallende Präponderanz. Demgemäß sind alle Dimensionen des Schädelraumes bei den Menschenaffen geringer, und auch



Schädel und Schädeldurchschnitte von Menschen und Menschenaffen. (Nach Virchow.)
1) Schädel eines Mikrokephalen. 2, 3) Schädel und Schädeldurchschnitt einer Australierin, 4, 5) eines erwachsenen Gorilla, 6, 7) eines erwachsenen Orang-Utan, 8, 9) eines jungen Schimpanse. Vgl. Text, S. 403.

äußerlich wird das durch Dickezunahme mancher Knochen nicht verdeckt. In dem Leben nach der Geburt schreitet das Wachstum des Gehirns jener Affen in viel geringerem Grade fort als beim Menschen, so daß die Wachstumsgrenze für die Gehirngröße viel früher erreicht wird, dafür aber die Größe des fertig ausgebildeten Gehirns auch eine viel geringere ist als beim Menschen. Daher tritt bei ihnen jener im jugendlichen Alter geringere Unterschied in der Größenentwickelung des Gehirns im erwachsenen Alter noch viel deutlicher zu Tage. Er wird aber noch dadurch gesteigert, daß dem Antlitzteil des Schädels bei den sogenannten menschenähnlichen Affen eine durch das ganze Jugendalter fortschreitende bedeutendere Ausbildung als bei dem Menschen zukommt. An dem Antlitzteil wird vor allem die Scheidewand zwischen den Augenhöhlen, Septum interorbitale, durch die Größenentwickelung der Stirnlappen des Gehirns beeinflußt. Bedeutend schmal ist diese Scheidewand bei dem Orang-Utan, weniger beim Gibbon (und Gorilla?); bei dem Menschen ist aber die Breite viel bedeutender, entsprechend der viel bedeutenderen Entwickelung der Stirnlappen des Gehirns. Da aber die Scheidewand zwischen den Augenhöhlen einen Teil der Nasenhöhle umschließt, so ist auch dieser Raum von der Gehirnentfaltung beeinflußt, und da sind es vorzüglich Nebenhöhlen, Cellulae ethmoidales, welche die Verbreiterung der Scheidewand darstellen. Sie fehlen gänzlich bei sehr schmaler Scheidewand oder sind nur minimal entfaltet. Auch die größere Beteiligung des Stirnbeines an der Scheidewand zwischen den Augenhöhlen bei vielen Affen gehört hierher. Die hier noch an der inneren Augenhöhlenwand liegenden Strecken des Stirnbeines sind beim Menschen ins Dach der Augenhöhle übergegangen, welches den Boden der vorderen Schädelgrube bildet und die Stirnlappen des Großhirns aufgelagert hat. Aus diesen Verhältnissen des Stirnbeines entspringen die bei Menschen und Affen so weit verschiedenen Zustände der Nasenbeine, welche bei den Affen durch die Verdrängung der Nasenhöhle nach abwärts rudimentär erscheinen. Ebenso werden für die Ausdehnung der übrigen Teile der Schädelkapsel die Gestaltungs- und Volumverhältnisse vorzüglich des Großhirns maßgebend."



Schädeldurchschnitt. abc) Sattelwinkel.
a) Mittelpunkt der Stirn-Nasennaht, b) Mittelpunkt der Rücklehne des Türkensattels, c) Mittelpunkt des Vorderrandes des großen Hinterhauptsloches.

Ein Blick auf die Abbildungen (S. 402) der Außenfläche und des Durchschnittes von Menschen- und Menschenaffen-Schädeln läßt diesen Einfluß verstehen. Diese Abbildungen sind nach sorgfältigen geometrischen Zeichnungen, welche Virchow durch einen verständnisvollen Künstler anfertigen ließ, ausgeführt. An die überwiegend größere Entfaltung des Gehirnraumes im Schädel knüpfen sich die beim Menschen viel bedeutendere Neigung der Nackenfläche des Hinterhauptsbeines, auf deren spezielle Formation wir bei der Rassenkraniologie zurückkommen, und die Richtung des Hinterhauptsloches nach unten, während dieses bei den meisten Säugetieren nach hinten gewendet ist und selbst bei den menschenähnlichen Affen in dem Maße einer vertikalen Ebene sich zukehrt, als ihr in der Jugend im Vergleich mit der Gesamtkörpergröße größeres Gehirn allmählich im Wachstum zurückbleibt und dadurch relativ kleiner wird. Aus derselben Entfaltung des Großhirns bei dem Menschen entspringt auch die Zunahme des Sattelwinkels oder

Basalwinkels des Schädels (s. Abbildung, S. 403), welcher auf Schädeldurchschnitten gemessen wird durch zwei Linien, von denen die eine von dem Mittelpunkte der Stirn-Nasennaht bis zum Mittelpunkt der Rücklehne des Türkensattels, die andere von der letzteren Stelle bis zum Mittelpunkt des Vorderrandes des großen Hinterhauptsloches gezogen wird. Dieser Winkel entspricht der Knickung, welche Gehirn und Schädel während der Fruchtentwickelung erleiden, und ist bei Tieren weit flacher als beim Menschen.

Anderseits sind es die Knochen der Kiefergegend, an welchen bedeutende Unterschiede des Schädels des Menschen im Vergleich mit den Affen sich ausprägen. Als Träger des Gebisses, dem sie Befestigung geben, sind die Kiefer von der Gestaltung der Zähne abhängig, und wie man weiß, daß sich beim Menschen der Zahnfortsatz der Kiefer, ihr Alveolarteil, mit den Zähnen entfaltet und im Alter mit dem Ausfallen der Zähne sich zurückbildet, so lassen sich auch ihre übrigen Verhältnisse mit der Wirkung der Zähne im Zusammenhang erkennen. In dieser Beziehung ist es die Größe der Zähne und ihrer Wurzeln, die in dem Maße, als sie die bei dem Menschen bestehenden Verhältnisse übertreffen, eine größere Kieferstrecke beanspruchen. Schon innerhalb der Reihe der Affen bestehen bedeutende, von der Stärke des Gebisses beherrschte Verschiedenheiten. Das Milchzahngebiß des Orang-Utan besteht aus viel größeren Zähnen als das definitive Gebiß des Menschen und übertrifft auch noch das Milchzahngebiß des Schimpanse. Hiermit in Übereinstimmung bilden die Kiefer des jungen Orang eine bedeutendere schnauzenartige Hervorragung. Mit der Anpassung des Größenumfanges der Kiefer an jenen der Zähne verbindet sich bei den Affen die mächtigere Ausbildung der Kaumuskulatur. Damit tritt ein neues Moment auf, welches umgestaltend auf den Schädel einwirkt. Nicht bloß am (vergrößerten) Unterkiefer ergeben sich vergrößerte Ansatzstellen für die Muskeln, sondern auch die Ursprungsstellen der Muskeln an der Schädelkapsel bieten ergiebigere Ausdehnung dar und entsprechen vor allem dem mächtig entwickelten Kaumuskel, Musculus masseter, und Schläfenmuskel, Musculus temporalis. Die weitere Spannung des Jochbogens und das bedeutendere Hervortreten des Jochbeines beim Orang-Utan und den anderen Menschenaffen ist eine solche vom Kaumuskel abzuleitende Bildung, indes der Schläfenmuskel bei den eigentlichen Menschenaffen durch seine Ausdehnung über fast die ganze Schädeloberfläche, wo seine Ursprungsstelle durch den über die äußere Oberfläche des Schädelgewölbes sich erhebenden leistenförmigen Knochenkamm, den Pfeilnahtkamm (Sagittal-Crista), bezeichnet wird, eine nicht minder wichtige Umgestaltung der Schädelform bedingt. Indem wir von den Zähnen auf die Kiefer, von diesen auf die Muskeln und von diesen auf die Schädelkapsel Einwirkungen erkannten, bleibt noch übrig, das Gebiß selbst in Zusammenhang mit der Lebensweise, der besonderen Art der Nahrungsbewältigung, aber auch in seiner Verwendung als Angriffswaffe zu beurteilen, um darin den Einfluß außerhalb des Kopfskelets befindlicher, zum Teil sogar außerhalb des Organismus liegender Faktoren auf die Schädelbildung zu erkennen.

Es ist das eine Thatsache, die, wie wir unten ausführen werden, auch für die differenten Bildungen der Menschenschädel ihre Geltung behauptet. Die Hauptunterschiede zwischen Menschen- und Affenschädel bestehen sonach teils in der weit bedeutenderen Ausbildung des Gehirns, teils in der geringeren Entfaltung des Gebisses bei dem Menschen im Gegensatz zu den Affen, bei denen umgekehrt das Gehirn geringer, dagegen das Gebiß weit mächtiger als beim Menschen entwickelt ist. Wir dürfen dabei nicht verkennen, daß auch anderen Teilen, z. B. der Entfaltung der Nasenhöhle und der Augenhöhle, eine wenn auch minder hervorragende Rolle zukommt. Sehr innig ist der Zusammenhang zwischen der Bildung der Nase, der Breite der Nasenwurzel und der Entfernung der Augenhöhlen voneinander mit der Entwickelung der Stirnlappen des Großhirns. Virchow hat nachgewiesen, daß mit der Entwickelung des Gehirns und Sattelwinkels die Stellung der Kiefer und Zähne direkt zusammenhängt.

Nach des Verfassers Resultaten steht bei den Säugetieren im allgemeinen der Gesamtbau des Schädels in einem unverkennbaren Abhängigkeitsverhältnis von der Größenentwickelung des Gehirns, was durch alle die Rassen- und Artverschiedenheiten der Schädelformen nicht verdeckt werden kann: mit relativ abnehmender Gehirngröße wird der ganze Schädelbau in allen seinen Einzelheiten tierischer, mit zunehmender Gehirngröße dagegen ebenso menschlicher. Dabei ergab sich, daß die normale menschliche Prognathie und die tierische Prognathie im Prinzip und Wesen, wie schon oben angedeutet, vollkommen verschieden sind. Während die tierische Prognathie bei Horizontalstreckung der Schädelbasis und ganz flachem Sattelwinkel durch das Zurückbleiben der Gehirnbildung gegenüber dem Schädelwachstum bedingt ist, geht die normale menschliche Prognathie mit stärkster Knickung der Schädelbasis und mit stark geknicktem Sattelwinkel Hand in Hand, beides bedingt durch übermächtige Gehirnentfaltung im Verhältnis zum Schädelwachstum; diese menschliche Prognathie erscheint sonach als ein „Exzeß typisch menschlicher Schädelbildung“. Daneben kommt aber noch eine pathologische Prognathie bei dem Menschen vor, welche sich, durch krankhafte Verengerung des Gehirnraumes des Schädels bedingt, näher an die tierische Prognathie anreiht. Die Schädel der menschlichen Embryonen sind in den ersten Entwickelungsmonaten, wenn die Gehirngröße die Schädelgröße noch relativ sehr bedeutend überwiegt, prognath in dem Sinne der normalen menschlichen Prognathie.

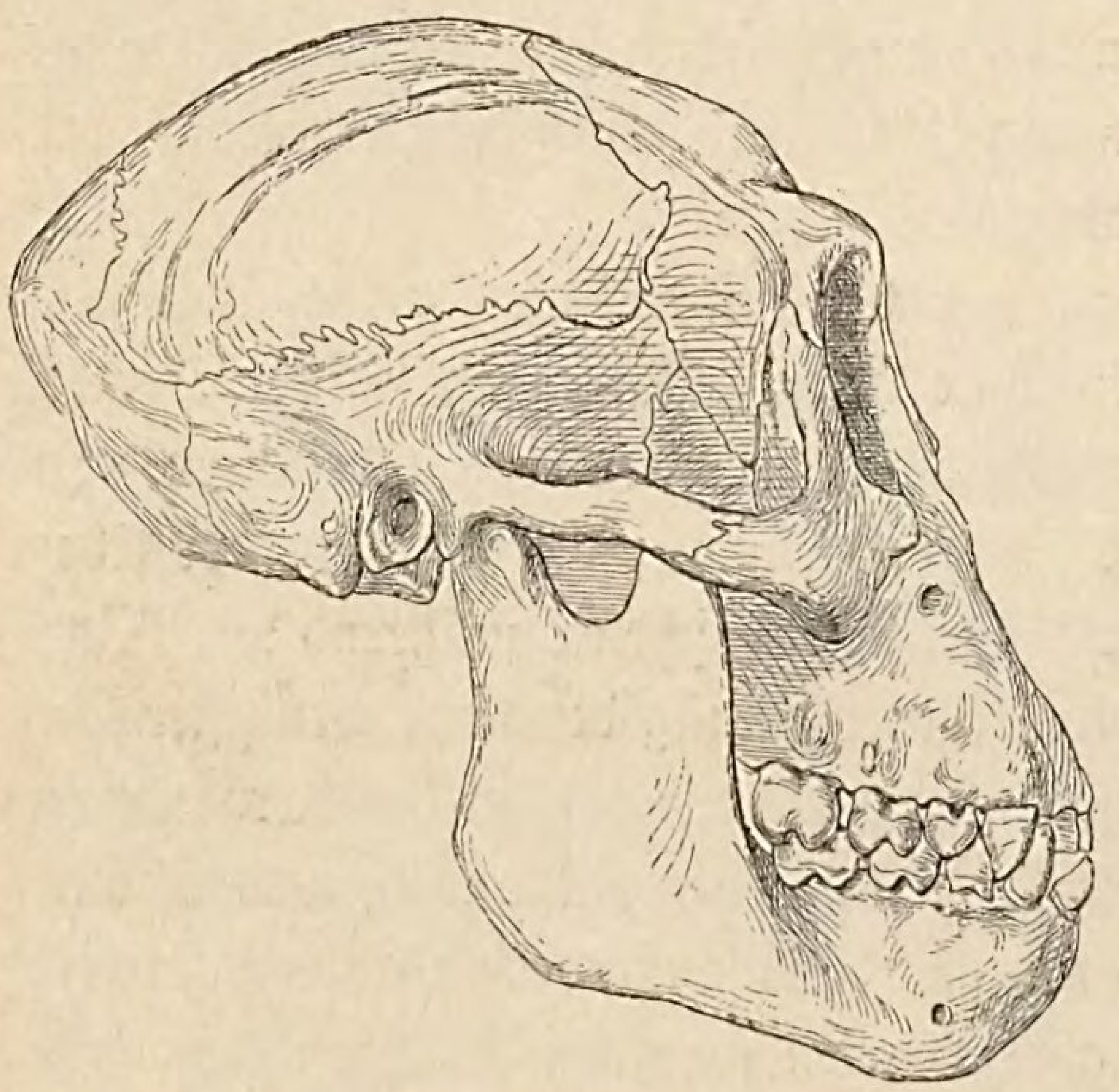
Abgesehen von diesen Hauptmomenten, welche sich von Einfluß auf die Schädelbildung erweisen, erkennen wir aber noch eine Reihe anderer, welche einen Zusammenhang der Schädelbildung mit der normalen Körperstellung und der Ausbildung der Atemorgane beweisen. Im stärksten Maße zeigt sich der Einfluß der normalen Körperhaltung auf die Stellung der Ebene des großen Hinterhauptsloches, welche nur bei dem erwachsenen Menschen annähernd den Mittelpunkt der Schädelbasis einnimmt, da bei der aufrechten Körperhaltung der Kopf wenigstens des neugeborenen Menschen vollkommen auf der Wirbelsäule balanciert; auch bei dem Erwachsenen ist nur in sehr geringem Grade ein Übergewicht des Schädels nach vorn vorhanden, welches durch die Wirkung der Nackenmuskulatur kompensiert werden muß. Ein außerordentlich viel stärkeres Übergewicht der Vorderhälfte des Schädels ist nun aber bei den menschenähnlichen Affen zum Teil infolge ihrer stärkeren Gebißentwickelung vorhanden; der Schädel der Menschenaffen balanciert nicht auf der Wirbelsäule, sondern hängt nach vorn von derselben herab, eine Stellung, welche nur durch die weit kräftigere Nackenmuskulatur der Affen verbessert werden kann. Unter diesen beiden Einwirkungen dreht sich aber der Affenschädel gleichsam um eine etwa in der Ohrgegend gelegene Querachse; der hintere Abschnitt des Schädels mit dem großen Hinterhauptsloch steigt nach aufwärts, das große Hinterhauptsloch wendet sich dem entsprechend nach hinten, der Gesichtsteil des Schädels steigt nach abwärts und zieht den Jochbogen und etwas schwächer die unteren Augenhöhlenränder mit in dieser Richtung, während die Ohröffnung in ihrer Lage wenig oder nicht verändert wird. Diese auffallende Differenz zwischen Menschen- und Menschenaffen-Schädel prägt sich in der relativ höheren Stellung der Ohren und dem Herabneigen des vorderen Abschnittes des Jochbogens beim Affenschädel aus.

Affenähnlichkeiten am Menschenschädel.

Von vornherein liegt es auf der Hand, daß bei der Übereinstimmung im allgemeinen Baugesetze des Menschen- und Säugetierschädels und bei der weiten individuellen Schwankungsbreite in der Formbildung des ersteren uns vielfältig Einzelgestaltungen entgegentreten werden, die oberflächlich mehr oder weniger an charakteristische Eigentümlichkeiten des Affenschädels erinnern.

Aber es hat sich nachweisen lassen, daß alle diese Affenähnlichkeiten am Menschenschädel, diese „pithekoiden“ Formen, teils direkt Resultate krankhaft, pathologisch, gestörter Entwickelung sind und damit vollkommen aus der Betrachtung normaler Verhältnisse ausgeschlossen werden müssen, wie z. B. die eigentümlichen Schädelbildungen bei krankhafter Hirnkleinhaut, Mikrokephalie (s. Abbildung, S. 402, Fig. 1), oder bei Kretinismus, teils individuelle Bildungen, welche sich durch eine vollkommen geschlossene Reihe von Zwischengliedern mit den typisch ausgebildeten Exemplaren des Menschenschädels zu einer einheitlichen Reihe zusammenschließen

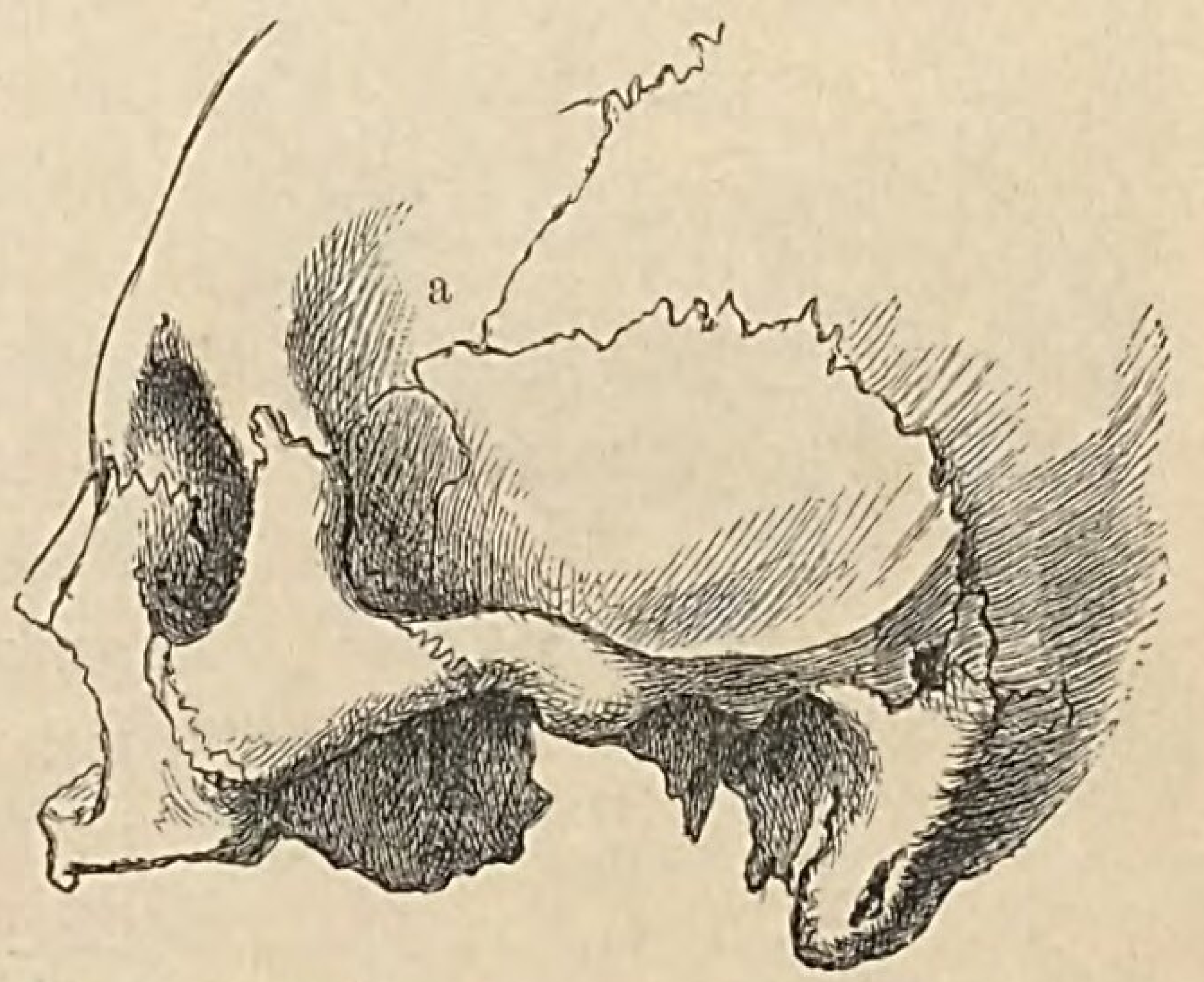
Menschenrassen oder -Stämme, sowohl heutige als historische und prähistorische, welche im ganzen Körperbau den Menschenaffen näher stehen als die Europäer, hat man bisher nicht aufgefunden. Wir werden das im einzelnen an einer späteren Stelle näher auszuführen haben. Hier wollen wir nur auf einige als pithekoid bezeichnete Merkmale am Schädel etwas spezieller eingehen. Der Gorilla und in geringerem Grade der Schimpanse unterscheiden sich von dem Menschen (und dem Orang-Utan) durch das röhrenförmige Vortreten der Augenhöhlen über die Stirn hinaus; dadurch wird der untere vordere Teil des Stirnbeines mit hervorgezogen und namentlich bei dem Gorilla auch leistenförmig aufgebogen (s. nebenstehende Abbildung und S. 402, Fig. 4). Man hat diese spezifische Bildung mit den individuell und rassenhaft sehr verschieden ausgebildeten Augenbrauenwülsten des Menschenschädels verglichen, obwohl deren Entstehungsursache eine ganz andere ist als bei dem Gorilla; bei dem Menschen wird sie durch die mehr oder weniger stark entwickelten Stirnhöhlen gebildet, deren Ausbildung bei dem Gorilla gerade meist mangelhaft zu sein pflegt. Bei einigen „niederen“ Menschenrassen, z. B. bei den afrikanischen „Negern“, ist die Ausbildung der knöchernen Augenbrauenbogen gering, bei anderen, den Australiern und manchen dunkelhäutigen Eingeborenen der Südsee, stärker, besonders stark aber bei den modernen Niederdeutschen, bei denen sie auch mit einer gewissen Niedrigkeit des ganzen Schädelgewölbes und der Stirn (Chamäkephalie) gepaart aufzutreten pflegt. Jener berühmte Schädelrest aus dem Neanderthal, der Neanderthalschädel, den man noch jetzt vielfach, freilich ohne genügenden Beweis, als aus dem Diluvium stammend betrachtet, besitzt in ausgesprochenem Maße diese heutige, speziell niederdeutsche oder nach Virchow friesische Schädelbildung, seine stark gewölbten Augenbrauenwülste finden dort und anderwärts ihre wenn auch nicht ebenso stark entwickelten Seitenstücke, und Huxley, der berühmte Anhänger der Darwinschen Theorie, hat mit Recht ausgesprochen, daß der Neanderthalschädel in keiner Weise als ein Mittelglied zwischen Mensch und Affe angesprochen werden könne (s. Bd. II).



Schädel eines jungen Gorilla. (Nach Virchow.)

Ähnlich verhält es sich mit einigen anderen „affenähnlichen“, pithekoiden, Schädelmerkmalen; besonders häufig an Malayenschädeln fand Virchow eine Verkümmerung des oberen Abschnittes der Nasenbeine, welche auf einer mangelhaften, krankhaften Entwickelung der die Nasenscheidewand formenden Knochen beruht. Sie kommt in einzelnen Fällen auch unter allen Kulturvölkern vor und, wie es scheint, nicht häufiger bei den „niederen“ Rassen, unter welche freilich niemand die Malayen, die Kulturrasse der Südsee, zählt.

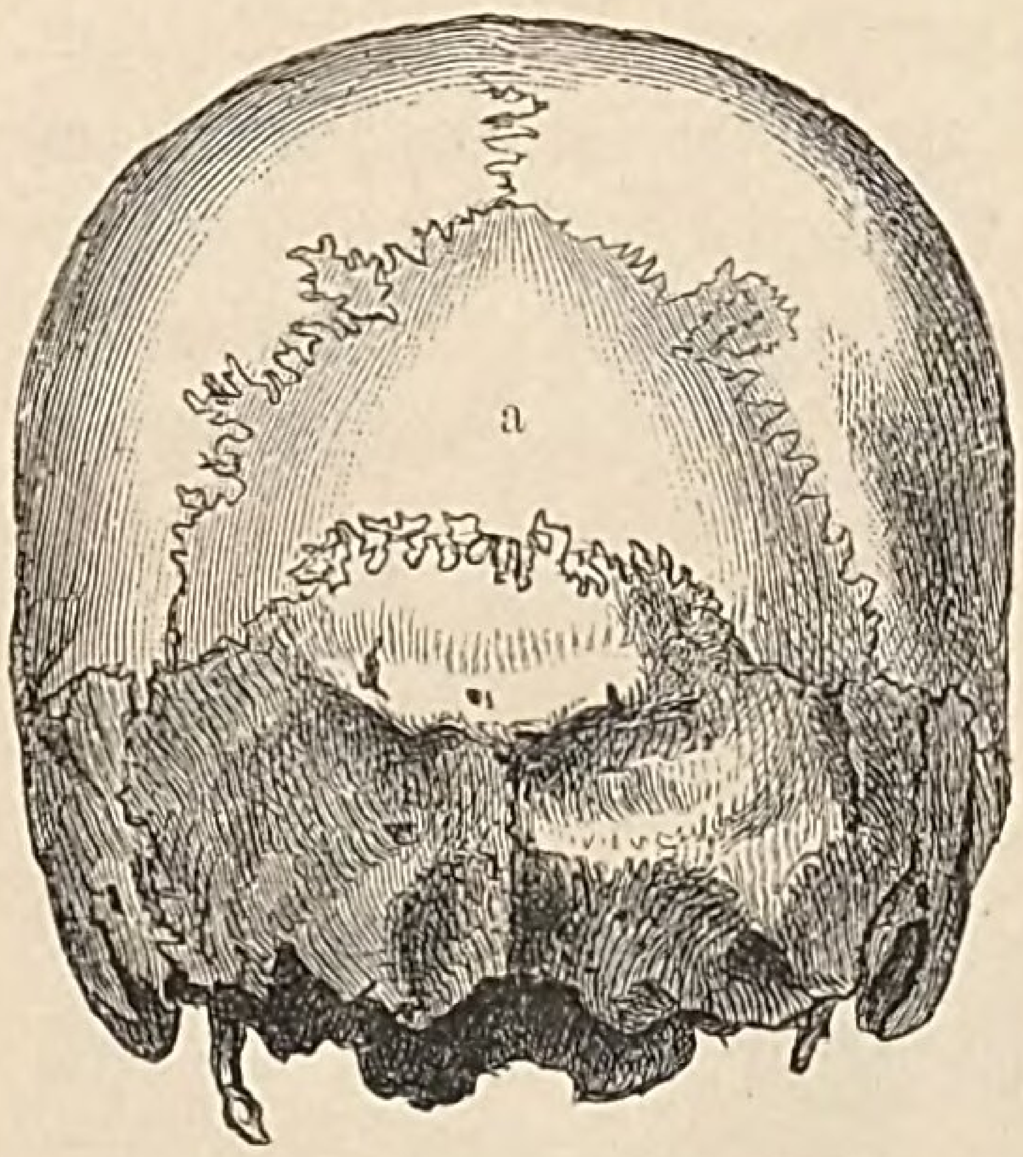
Eine andere krankhafte Verbildung des Schädels, wie nachgewiesen, auf frühzeitigen allgemeinen Ernährungsstörungen beruhend, führt zu einer Verengerung und in extremen Fällen zu einer rinnenartigen Einsenkung der Schläfengegend: Virchows „Schläfenenge" (Stenokrotaphie). Sie findet sich bei einigen „niederen" Menschenrassen häufiger als bei den Kulturvölkern, bei denen die Ernährung der Kinder eine rationellere ist; immerhin ist sie auch bei Kulturvölkern, namentlich in Gegenden, wo das Kind ohne Mutterbrust aufgezogen wird, sehr häufig. Bei der Schläfenenge kommt es oft zu einer extremen Verschmälerung des großen Keilbeinflügels, so daß sich der Hinterrand des Stirnbeins und Vorderrand der Schläfenbeinschuppe direkt berühren können. Diese Berührung findet hier und da durch eine schmale Knochenbrücke statt, welche sich von der Schläfenschuppe zum Stirnbein hinüberspannt, den Stirnbeinfortsatz der Schläfenschuppe (Processus frontalis; s. untenstehende Abbildung). Solche Schädel hat man zuerst bei den afrikanischen Negern, später bei Schädeln anderer „niederer" Rassen entdeckt und sie in diesem Zusammenhang als pithekoid bezeichnet; jetzt wissen wir, daß sie in einem bestimmten Prozentsatz auch unter allen Kulturvölkern auftreten, und anderseits ist auch für den Schädel der Menschenaffen diese Schläfenbeinfortsatzbildung keineswegs konstant. Sie beruht also wohl bei dem Menschen wie bei den Menschenaffen auf besonderen individuellen Bildungsbedingungen, die aber bei manchen Affen noch häufiger als bei dem Menschen wirksam werden. Der Unterrand der knöchernen Nasenöffnung (Apertura pyriformis) ist bei dem Menschen meist scharf und einfach; bei den Menschenaffen fehlt der Nasenstachel, und die Unterränder der Nasenöffnung sind flach und verwaschen. Namentlich bei stark prognathen Schädeln der Menschen, aus Europa oder sonstwo her, flacht sich der Unterrand der Nasenöffnung auch stärker ab, und es bilden sich wohl jederseits an Stelle der scharfen Begrenzung zwei niedrige Leisten aus, welche eine flache Grube, Pränasalgrube, zwischen sich fassen. Diese Bildung fand der Verfasser häufig an mitteldeutschen Schädeln und zwar mit einer am Lebenden langen, mit der Spitze sogar etwas überhängenden Nase verbunden. An manchen Negerschädeln ist die Abflachung an dem Unterrande der Nasenöffnung zweifellos zum Teil eine künstliche, durch in der Nasenscheidewand getragene Schmuckgegenstände herbeigeführt. Eigentliche Pränasalgruben besitzen die Affen nicht, nach Thomas Dwight dagegen manche Robben. Mingazzini unterscheidet vier Haupttypen der Bildung des unteren Randes der Nasenöffnung: 1) Menschliche Hauptform (Forma anthropina): die Apertura pyriformis ist in ihrem ganzen Umfang von einem scharfen Rande begrenzt; 2) Pränasalgrube (Fossa praenasalis): der untere Rand der Nasenöffnung stellt jederseits eine Grube dar, welche von zwei deutlichen Rändern begrenzt ist. 3) Kindliche Form (Forma infantilis), bei welcher der untere Rand nur abgestumpft und abgerundet erscheint. 4) Abflachung am Unterrand der Nasenöffnung, d. h. in der Nasen-Zahnrandgegend (Clivus nasoalveolaris): durch eine leicht gebogene Fläche geht der abgeflachte und nicht scharf abgegrenzte untere Rand der knöchernen Nasenöffnung unter der Nase in den Zahnrand über.



Stirnbeinfortsatz der Schläfenschuppe.
Bei a) Verbindung der Schläfenschuppe durch eine Knochenbrücke direkt mit dem Stirnbein.

Ebenso gehören die mehr oder weniger prognath vorgeschobenen Kiefer und Zahnrandbogen individuell allen Menschenrassen an, in gleicher Weise die stark entwickelten Muskelleisten an der Hinterhauptschuppe, von denen die mittleren zu einem Hinterhauptsquerwulst (Torus occipitalis; Ecker) verschmelzen können. Auch das Offenbleiben mancher für das Leben

des ungeborenen und neugeborenen Menschen charakteristischer Schädelnähte hat man wohl als Tierähnlichkeiten bezeichnet. Das Offenbleiben solcher Nähte beruht aber nach Virchow meist auf einem vorzeitigen krankhaften Verschluß anderer Nähte und Fugen am Schädel, so daß die offen bleibenden, gleichsam wie Ventile wirkend, die Gehirnentwickelung, die nach einer Richtung anormal gehemmt ist, in einer anderen Richtung in gesteigertem Maße gestatten. Das ist der Fall z. B. bei dem Offenbleiben der Stirnnaht oder der queren Hinterhauptsnaht, welche dann die Hinterhauptschuppe von dem übrigen Hinterhaupt als einen eigenen Knochen abtrennt. Man hat diese überall nicht ganz selten und zwar mit verschiedenen Modifikationen vorkommende Bildung, die man zuerst an Peruanerschädeln aufgefunden hatte, als Inka-Knochen bezeichnet (s. nebenstehende Abbildung).



Inka-Knochen des Schädels.
Bei a Abtrennung der Oberschuppe des Hinterhauptsbeines durch eine anormal offen gebliebene fötale Quernaht.

Die individuell verschiedene Ausbildung des Kinnes des Menschen im Gegensatz zu dem vollkommenen Mangel eines Kinnes, wie er für alle Affen, auch speziell für die Menschenaffen, charakteristisch ist, werden wir unten näher besprechen.

Wir schließen diese kurze Übersicht mit einem sehr beherzigenswerten Worte Virchows: „Die Pathologie, selbst die Anatomie haben seit alter Zeit gewisse Tierähnlichkeiten zur Namengebung benutzt, ohne daß man damit einen inneren genetischen Zusammenhang bezeichnen wollte. In diesem weiten Sinn sollte man heutzutage nicht von affenähnlich, pithekoid, sprechen. Nicht jede tierische Abweichung vom Normalbau, am wenigsten eine solche, welche nur in entfernter Weise an den Typus der Affen erinnert, darf pithekoid genannt werden; vielmehr muß eine positive Übereinstimmung der Bildung und zwar nicht mit einem gedachten Affen, sondern mit einem bestimmten Affen, einer bestimmten Spezies, Art, vorhanden sein. Die Abweichung darf auch nicht zufällig durch das Zusammenwirken erkennbarer anormaler Ursachen, sondern sie muß spontan, durch einen ‚inneren Bildungstrieb‘ hervorgebracht sein.“ Ich wenigstens kenne bis jetzt kein „pithekoides Merkmal“ am Menschenschädel, welches diesen Anforderungen des exakten wissenschaftlichen Standpunktes genügt.

Der innere Hohlraum der Schädelkapsel.

Der Hauptunterschied zwischen Mensch und menschenähnlichen Affen beruht in der verschiedenen Entwickelung des Gehirns. Auf diesen Unterschied, verbunden mit dem Einfluß des auch durch die Gehirngröße bedingten aufrechten Ganges, geht die Mehrzahl aller Differenzen im Schädelbau zwischen Mensch und Affe zurück. Aber namentlich spricht sich dieses Übergewicht der Gehirnausbildung des Menschen in der mächtigen Größe des Innenraumes aus, welchen die Schädelkapsel als Hülle des Gehirns darstellt. Ein Blick auf die S. 402 gegebenen Durchschnitte von Menschen- und Affenschädeln gibt uns ohne weiteres eine Anschauung von diesem gewaltigsten Unterschied, der Mensch und Tier trennt. Man hat in jüngster Zeit genaue Methoden gefunden, um den Innenraum der Schädelkapsel exakt zu messen. Der Schädel wird zu diesem Zweck, nachdem zuerst seine übrigen größeren Öffnungen durch Einstopfen von Wattepfropfen geschlossen sind, vom Hinterhauptsloch aus mit ungeschälter Hirse, mit Bleischroten einer bestimmten Größe oder mit trockenen Erbsen gefüllt und das Volumen der wieder ausgegossenen

Füllmasse dann entweder durch Messen oder Wägen bestimmt. Die Methode erfordert, daß bei der Füllung eine bestimmte, in allen Fällen gleichmäßige, resp. maximale Dichtigkeit der Füllmasse im Schädel, eventuell auch im Meßgefäß erreicht wird.

Die älteren Bestimmungsmethoden der „Schädelkapazität" oder der „Kubierung" des Schädelinnenraumes ergaben leider bisher nicht vollkommen vergleichbare Werte bei den verschiedenen Autoren. Der Fehler, der den verschiedenen Methoden anhaftet, ist ein verschieden großer nach der Plus- und Minusseite, manchmal auch recht auffallend ungleichmäßig.

Die von Broca-Topinard und ihrer Schule in Paris geübte Kubierungsmethode gibt jedoch annähernd gleichmäßige Resultate und zeigt dem entsprechend einen gleichmäßigen Fehler, welcher es ermöglicht, die nach dieser Methode gewonnenen Resultate in „wahres Volum" umzurechnen. Bei einem Volumen unter 1000 ccm Schädelhohlraum ist je 1 ccm der Broca-Topinardschen Schule = 0,9708 ccm wahres Volumen; auch für Volumen von 1000 ccm und darüber ist die Rechnung wenig komplizierter. Nach der Feststellung von E. Schmidt ist Brocas 1000 = 931,3 ccm wahres Volumen; dazu muß nun der Überschuß über 1000 nach der obigen Formel 1 = 0,9708 berechnet und addiert werden. Mit dieser Korrektur sind wir in der erfreulichen Lage, die zahlreichen von der französischen Schule gewonnenen Resultate direkt mit unseren ebenfalls auf „wahres Volum" reduzierten Kubierungen vergleichen zu können. Stellen wir einige Resultate von Bestimmungen des wahren Volumens des Schädelinnenraumes in Kubikzentimetern tabellarisch zusammen.

Herkunft der Schädel	Zahl der Schädel	Mittel	Minimum	Maximum
Männliche Schädel der altbayrischen Landbevölkerung (nach J. Ranke)	100	1503	1260	1780
Weibliche Schädel der altbayrischen Landbevölkerung „ „	100	1335	1100	1683
Männliche Europäer in runder Zahl (nach Topinard)	—	1410	—	—
Männliche Gorillas (umgerechnet) „ „	16	498	461	605
Weibliche Gorillas „ „ „	3	458	383	563
Männliche Schimpansen „ „ „	7	409	371	469
Weibliche Schimpansen „ „ „	3	392	376	413
Männliche Orang-Utan „ „ „	3	426	420	464
Weibliche Orang-Utan „ „ „	1	406	—	—

Das Maximum des Schädelinnenraumes bei einem normalen Europäer scheint 2000 ccm nicht zu erreichen; 1870 ccm ist die höchste Zahl, welche Welcker aus der deutschen rheinländischen Bevölkerung angibt. Dagegen bestimmte Virchow bei einem vollkommen normalen männlichen Schädel aus Neubritannien 2010 ccm und für einen weiblichen derselben Bevölkerung 1040 ccm. Welcker fand als Minimum unter der mitteldeutschen Bevölkerung einen normalen weiblichen Schädel von nur 1090 ccm und Virchow bei den Wedda auf Ceylon einen sonst anscheinend normalen weiblichen Schädel von nur 960 ccm. Es trifft das damit zusammen, daß die Wedda zu den kleinsten der lebenden bekannten Menschenstämme zählen, so daß man sie „einen Zwergstamm, wenn auch nicht gerade in strengem Wortsinn", nennen darf; als Maximum des Gehirnraumes fand Virchow bei einem männlichen Wedda-Schädel 1614 ccm. In einer Anzahl von Ceramesen-Schädeln wurden durch Virchow als (weibliches) Minimum 1055, als (männliches) Maximum 1510 ccm bestimmt. Unter den „Reihengräberschädeln von Slaboszewo" war, ebenfalls nach Virchow, das (weibliche) Minimum 930, das (männliche) Maximum 1650 ccm. Danach dürfen wir etwa 1000 ccm als das physiologisch zulässige Mindestmaß für den menschlichen (weiblichen) Schädelinnenraum ansprechen.

Vergleichen wir die Mittelwerte für etwa gleichgroße männliche Individuen von Mensch und Gorilla miteinander, so ist das Verhältnis der Gehirngewichte wie 500 : 1500 oder 1 : 3. Der Gorilla, der das größte Gehirn unter den Menschenaffen besitzt, hat also im Mittel einen Schädelinnenraum, der nur ein Drittel so groß ist wie der des mittleren erwachsenen Europäers (Altbayern). Diese Unterschiede schrumpfen aber bedeutend zusammen, wenn wir das Maximum des Schädelinnenraumes des (männlichen) Gorilla: 605 ccm, mit dem Minimum des Schädelinnenraumes eines noch normalen (weiblichen) Menschen: 930 ccm, vergleichen. Das Verhältnis sinkt von dem oben angegebenen Mittelwert 1 : 3 auf nur 1 : 1½, genau 1 : 1,555, herunter. Freilich sind die letzteren Vergleichungen exakt nicht vollkommen zulässig, da, wie wir später bei der Untersuchung der Gehirngröße hören werden, die Größe des Schädelinnenraumes wie die des Gehirns bei dem Menschen auf- und abwärts schwankt mit der Größenentwickelung des Gesamtkörpers.

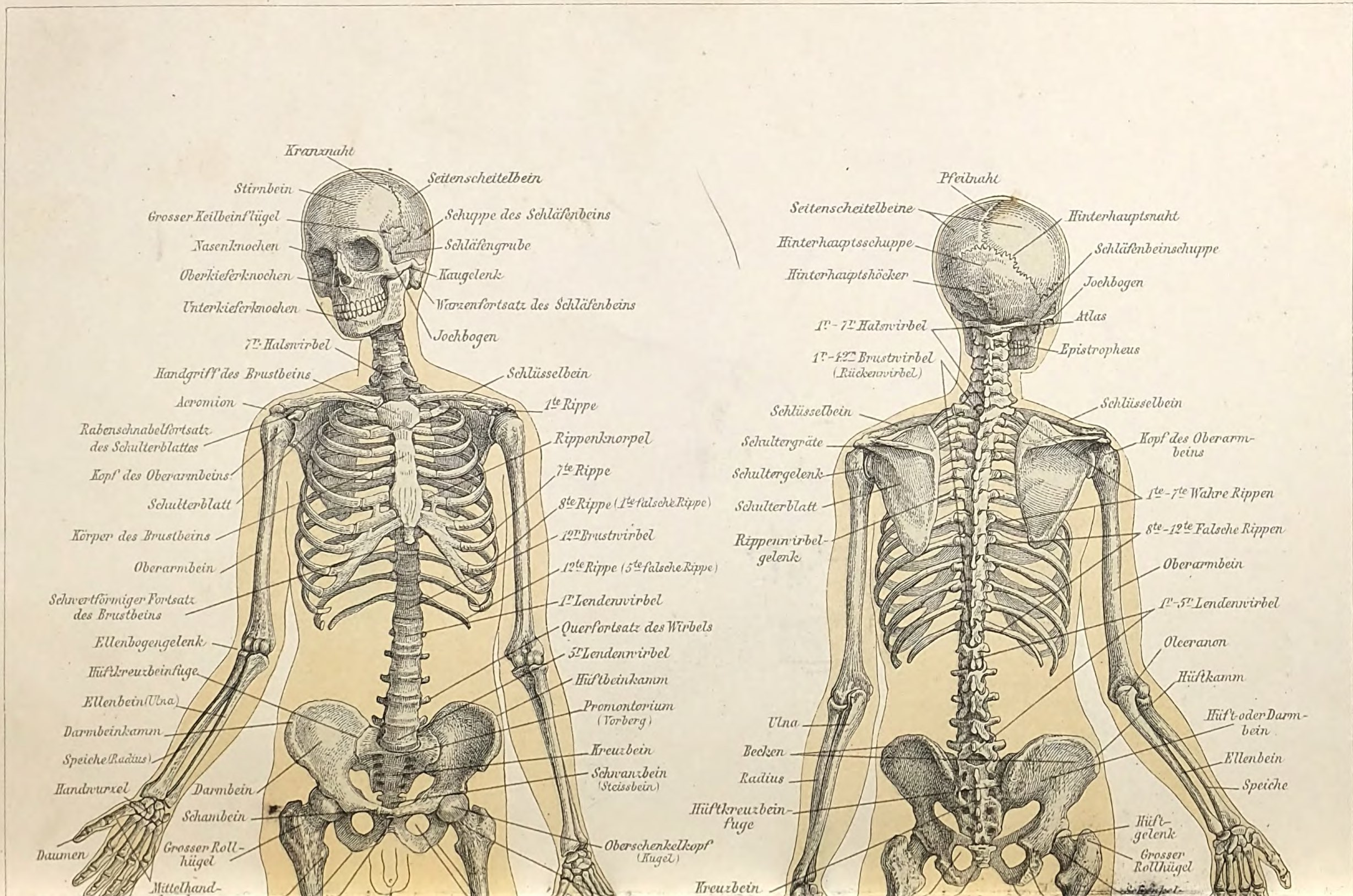
Wir wollen hier noch hervorheben, daß das absolute Maß des Innenvolumens der weiblichen Schädel im Mittel kleiner ist als das männlicher Schädel; es gilt das für Menschen aller Rassen, aber, wie die obenstehende Tabelle ergibt, auch für die beiden Geschlechter der drei Menschenaffen-Arten. Im Mittel erscheint jedoch der Unterschied zwischen dem Weibe und dem Manne etwas größer als zwischen den beiden Geschlechtern der menschenähnlichen Affen. Des Verfassers Zahlen für die altbayrische Landbevölkerung lehren, daß, wenn wir das Volumen des Schädelinnenraumes der Weiber = 1000 setzen, das der Männer 1126 ist; setzen wir das Volumen des Schädelinnenraumes bei den weiblichen Menschenaffen ebenfalls = 1000, so ist das des männlichen Gorilla 1088, des männlichen Schimpanse 1043, des männlichen Orang 1049. Daß bei den sogenannten „Wilden" unter den Menschen die Differenz zwischen männlichem und weiblichem Schädel nicht, wie man das früher so entschieden behaupten wollte, kleiner ist als bei den Europäern, ergeben die obigen Zahlen für die Wedda und andere. Speziell bei den Neubritanniern verhält sich der minimale Schädelinnenraum des Weibes zu dem maximalen des Mannes wie 1000 zu 1763. Für die verschiedenartigen Bevölkerungen der Südsee-Inselwelt hat beträchtliche Unterschiede zwischen der Schädelkapazität von Mann und Weib auch R. Krause nachgewiesen. Bei den Bewohnern z. B. des Viti-Archipels beträgt die mittlere männliche Kapazität 1368 ccm, die mittlere weibliche 1269,4 ccm, Maximum (männliches) 1680, Minimum (weibliches) 1040 ccm. Wir werden bei der Kraniologie der Menschenrassen auf die Verhältnisse der Schädelkapazität im einzelnen und ausführlich zurückkommen.

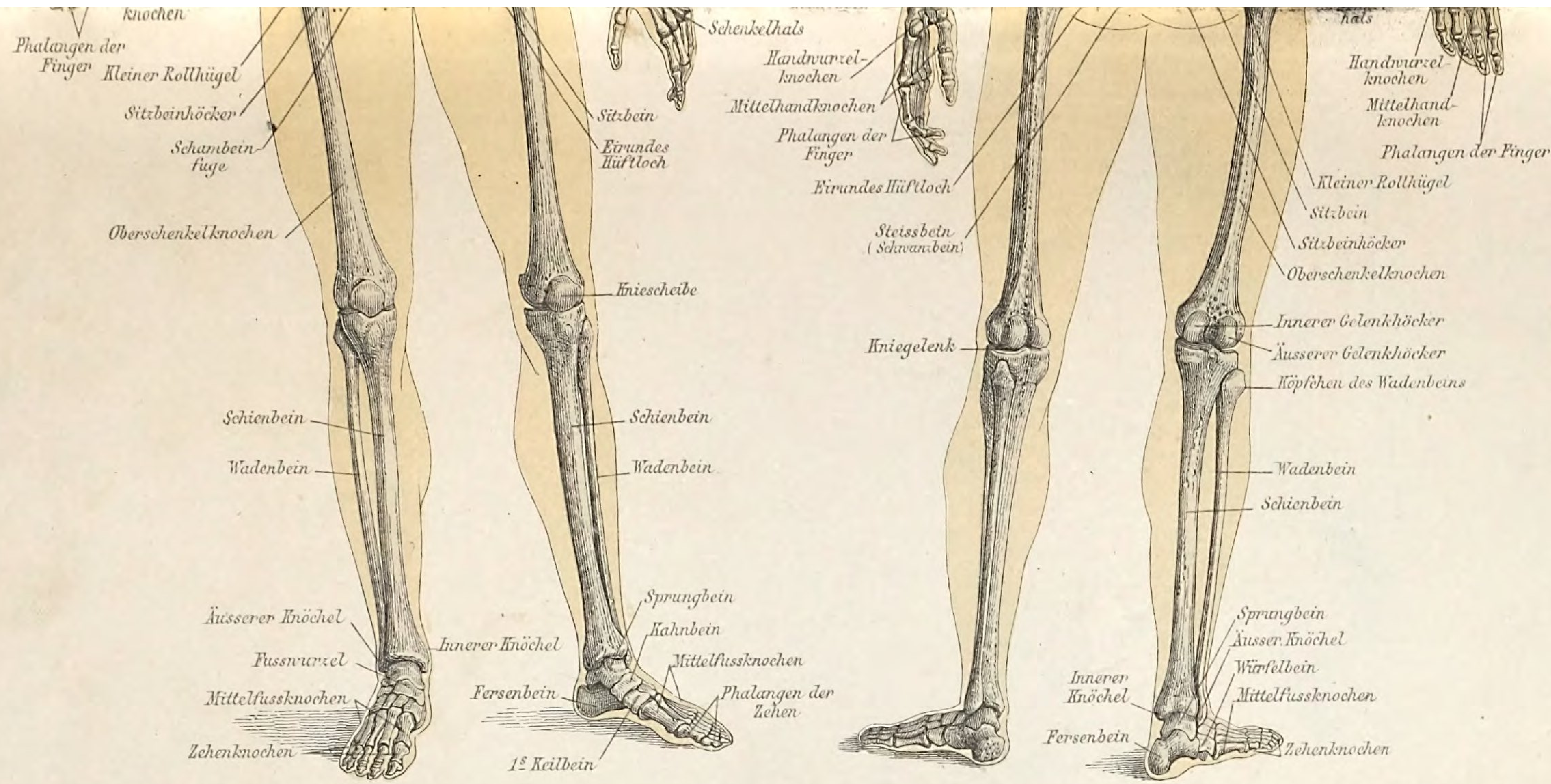
Sergi hat in seiner noch mehrfach zu erwähnenden wichtigen Abhandlung zur Reform der Methodik der Kraniometrie (1891) für die Melanesier folgende Einteilung der Schädelkapazität aufgestellt:

physiologisch-mikrokephal	unter 1150 ccm
elattokephal . .	von 1150 bis 1300 =
oligokephal . .	= 1300 = 1400 =
metriokephal . .	= 1400 = 1500 =
megalokephal .	= 1500 und darüber.

Der Verfasser hat schon 10 Jahre früher (1882) eine solche Einteilung im Anschluß an die bei den deutschen Kraniologen üblichen, meist von Virchow eingeführten Bezeichnungen für bayrische, respektive europäische Schädel (Stadt- und Landbevölkerung) gegeben:

nannokephale unter . . .	1300 ccm
emmetrokephale von 1300 bis 1499	=
eukephale . . = 1500 = 1699	=
kephalone . . = 1700 und darüber.	


Kranznaht
Stirnbein
Seitenscheitelbein
Grosser Keilbeinflügel
Schuppe des Schläfenbeins
Nasenknochen
Schläfengrube
Oberkieferknochen
Kaugelenk
Unterkieferknochen
Warzenfortsatz des Schläfenbeins
Jochbogen
7te Halswirbel
Handgriff des Brustbeins
Schlüsselbein
Acromion
1te Rippe
Rabenschnabelfortsatz des Schulterblattes
Rippenknorpel
Kopf des Oberarmbeins
7te Rippe
Schulterblatt
8te Rippe (1te falsche Rippe)
Körper des Brustbeins
12te Brustwirbel
Oberarmbein
12te Rippe (5te falsche Rippe)
Schwertförmiger Fortsatz des Brustbeins
1te Lendenwirbel
Querfortsatz des Wirbels
Ellenbogengelenk
5te Lendenwirbel
Hüftkreuzbeinfuge
Hüftbeinkamm
Ellenbein (Ulna)
Promontorium (Vorberg)
Darmbeinkamm
Kreuzbein
Speiche (Radius)
Schwanzbein (Steissbein)
Handwurzel
Darmbein
Schambein
Daumen
Grosser Roll-hügel
Oberschenkelkopf (Kugel)
Mittelhand-
Pfeilnaht
Seitenscheitelbeine
Hinterhauptsnaht
Hinterhauptsschuppe
Schläfenbeinschuppe
Hinterhauptshöcker
Jochbogen
Atlas
1te - 7te Halswirbel
Epistropheus
1te - 12te Brustwirbel (Rückenwirbel)
Schlüsselbein
Schlüsselbein
Schultergräte
Kopf des Oberarm-beins
Schultergelenk
1te - 7te Wahre Rippen
Schulterblatt
8te - 12te Falsche Rippen
Rippenwirbel-gelenk
Oberarmbein
1te - 5te Lendenwirbel
Olecranon
Hüftkamm
Ulna
Hüft- oder Darm-bein
Becken
Ellenbein
Radius
Speiche
Hüftkreuzbein-fuge
Hüft-gelenk
Grosser Rollhügel
Kreuzbein



Vorderansicht.

Rückenansicht.

Skelet des Menschen.

Die Nannokephalen umfassen sonach die beiden Gruppen der Mikrokephalen und Elattokephalen Sergis; die Emmetrokephalen zerfallen bei Sergi in die Oligo- und die Metriokephalen, unsere Kephalone fehlen ihm gänzlich.

In neuester Zeit (1892) hat Virchow nun selbst in den „Amerikanischen Schädeln" sein Schema aufgestellt; er nennt Nannokephale jene Schädel, bei welchen der Rauminhalt höchstens 1200 ccm beträgt oder darunter bleibt, Kephalone, wenn der Inhalt sich über 1600 ccm erhebt; die Mittelgruppe von 1201—1600 ccm wird von ihm als Eurykephale bezeichnet.

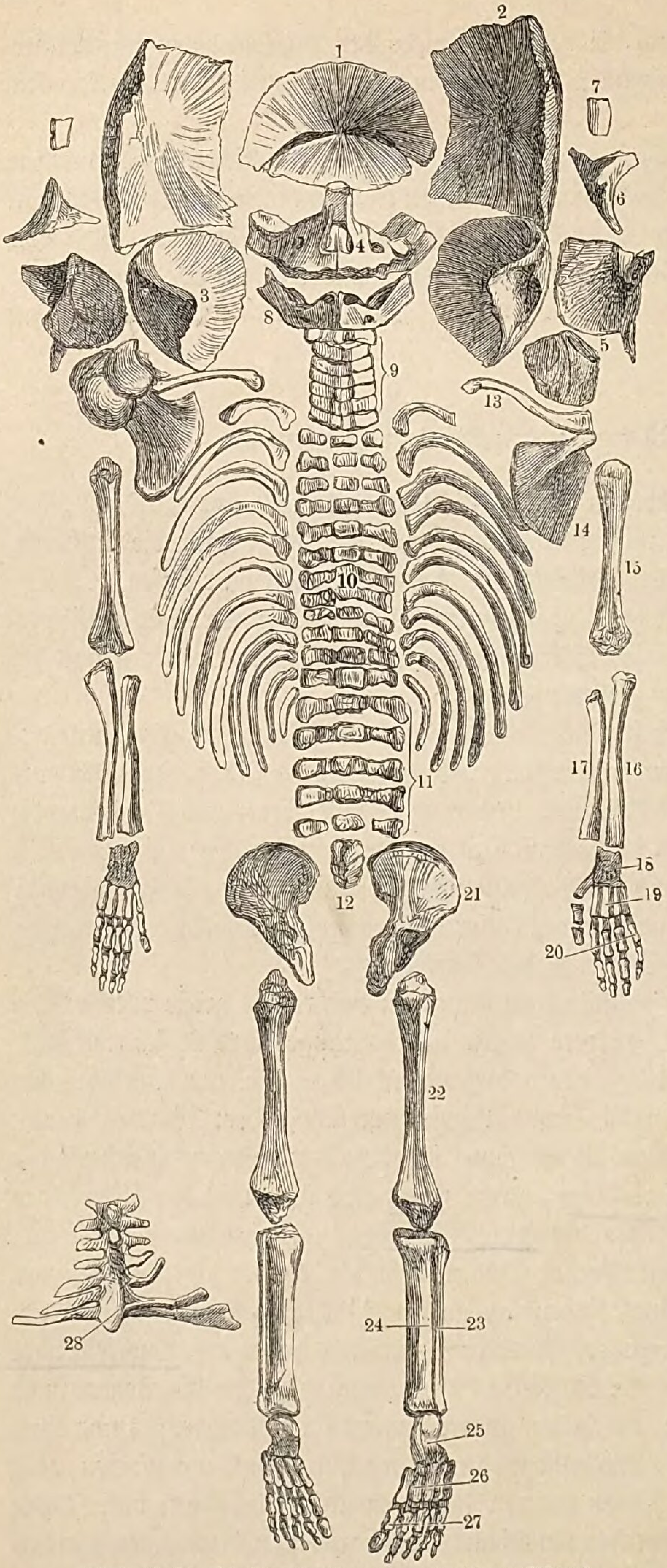
Das Knochengerüst des menschlichen Rumpfes.

Bei der fortschreitenden Übersicht über den Bau des Skelets (vgl. die beigeheftete Tafel „Das Skelet des Menschen") können wir uns nach Betrachtung des Schädels, des für die anthropologischen Betrachtungen bis jetzt wichtigsten Abschnittes desselben, relativ kürzer fassen.

An dem Stamme oder Rumpfe des Skelets unterscheiden wir die Wirbelsäule mit dem Brustkorb. Die Wirbelsäule besteht aus den Wirbeln oder Urknochen, der Brustkorb aus den als Brustbein und Rippen unterschiedenen Nebenknochen.

Die Wirbelsäule des Erwachsenen setzt sich aus 26, respektive 33 Knochen zusammen: aus 7 Halswirbeln, 12 Rückenwirbeln, 5 Lendenwirbeln, 1 Kreuzbein und 1 Steiß- oder Schwanzbein (s. Abbildung, S. 414, Fig. 1). Das Kreuzbein besteht aber selbst wieder aus 5 miteinander verschmolzenen Wirbeln (falschen Wirbeln im Gegensatz zu den bisher genannten) und das Steiß- oder Schwanzbein meist aus 4, selten aus 5, Wirbeln äußerlich kaum mehr ähnlich sehenden, diesen aber der Entstehungsgeschichte nach vollkommen entsprechenden, nicht verschmolzenen Knochenstücken, welche man ebenfalls als falsche Wirbel zu bezeichnen pflegt.

Jeder wahre Wirbel bildet einen vollständigen Ring um eine relativ große mittlere Öffnung (s. die Abbildungen S. 413). Das vordere Bogenstück des Ringes verdickt sich (mit Ausnahme des ersten und zweiten Halswirbels) zu einem kurzen, rundlichen, säulentrommelähnlichen Knochenstück mit oberer und unterer, ziemlich ebener Begrenzungsfläche, dem Wirbelkörper. Der hintere Bogenabschnitt des Gesamtringes bleibt schmal und bekommt daher vorzugsweise den Namen Wirbelbogen. Von diesem Wirbelbogen gehen sieben Fortsätze aus; vier dieser Fortsätze, zwei obere und zwei untere, verbinden als Gelenkfortsätze die einzelnen Wirbel miteinander; die Gelenkflächen der oberen Gelenkfortsätze sind nach hinten, die der unteren nach vorn gerichtet. Außer diesen vier Gelenkfortsätzen finden sich an den Wirbelbogen noch je drei Fortsätze, welche zum Ansatz den Rumpf bewegender Muskeln dienen und daher als Muskelfortsätze der Wirbel bezeichnet werden. Der eine dieser Muskelfortsätze ist von der Mitte des Bogens nach hinten gerichtet und heißt Dornfortsatz, die beiden anderen haben ihren Platz rechts und links als Querfortsätze. An der Stelle, wo Wirbelbogen und Wirbelkörper zusammenstoßen, fällt an seinem oberen Rande ein flacher, an seinem unteren Rande ein tiefer Ausschnitt auf. Beide Ausschnitte vereinigen sich mit den entsprechenden Ausschnitten des darüber- und darunterliegenden Wirbels zu Löchern; es sind das die, mit Einschluß jener am Kreuzbein befindlichen, 30 Zwischenwirbellöcher, welche vor allem für die Ermöglichung des Austrittes der Nervenstämme, welche in der von den Wirbelbogen im ganzen gebildeten Rückgratshöhle vom Rückenmark entspringen, von Wichtigkeit erscheinen. Die eben erwähnten Teile des Wirbels erleiden übrigens an einigen Wirbeln sehr auffallende und wichtige Modifikationen, wodurch wir in den Stand gesetzt sind, die namhaft gemachten Abschnitte der Wirbelsäule näher zu charakterisieren.



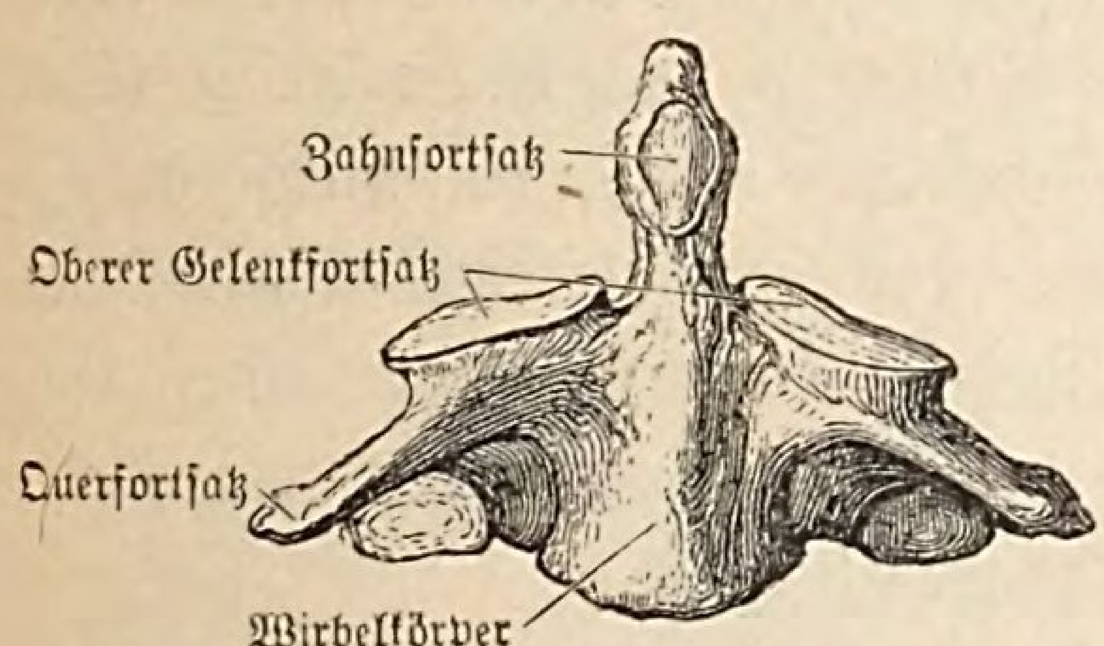
Skeletbestandteile eines neunmonatigen Fötus.
(Nach Hartmann.)
1) Hinterhauptsbein, 2) Scheitelbein, 3) Stirnbeinhälfte, 4) Oberkieferbein, 5) Schläfenbein, 6) Jochbein, 7) Nasenbein, 8) Unterkiefer, 9) Hals-, 10) zwölf Brustwirbel, 11) Lenden-, 12) Kreuzbeinwirbel, 13) Schlüsselbein, 14) Schulterblatt, 15) Oberarm, 16) Ellen-, 17) Speichenbein, 18) knorpelige Handwurzel, 19) Mittelhand, 20) Fingerknochen, 21) Hüftbein, 22) Oberschenkelbein, 23) Wadenbein, 24) Schienbein, 25) Fußwurzel, 26) Mittelfuß, 27) Zehenknochen, 28) Schlüsselbein.

Die Halswirbel (s. Abbildung, S. 413) besitzen, abweichend von den anderen Wirbeln, ein Loch in jedem ihrer beiden kurzen und platten Querfortsätze, durch welches die Wirbelarterie verläuft. Jeder Querfortsatz erscheint bei den Halswirbeln infolge dieser Durchbohrung gleichsam aus zwei gegen die Spitze des Fortsatzes zu miteinander verschmolzenen Spangen gebildet; die vordere dieser Spangen entspringt vom Wirbelkörper und hat vergleichend anatomisch die Bedeutung einer Rippe, Halsrippe. Die Körper der Halswirbel sind breit und niedrig, ihre obere Fläche konkav, die untere konvex; das große Wirbelloch, durch welches das Rückenmark hindurchläuft, ist annähernd dreieckig; die Gelenkfortsätze sind wagerecht gestellt, die Spitze des Dornfortsatzes ist gespalten, die Richtung der Dornfortsätze ist im allgemeinen eine horizontale. Der siebente, letzte Halswirbel zeigt in seiner Form einige Abweichungen von dem eben gegebenen Schema, er gleicht mehr einem der Brustwirbel; sein Dornfortsatz ist an der Spitze nicht gespalten, schräg nach abwärts gerichtet und durch eine bedeutendere Länge ausgezeichnet. Dadurch bildet er bei nach vorwärts geneigtem Haupt einen Vorsprung am Halsrücken, von dem der Wirbel den Namen vorspringender oder prominierender Wirbel erhalten hat. Für die Messungen der Rumpflänge am Lebenden dient dieser Vorsprung als oberer Meßpunkt. Noch viel mehr weichen der erste und zweite Halswirbel von dem Schema der übrigen Halswirbel ab.

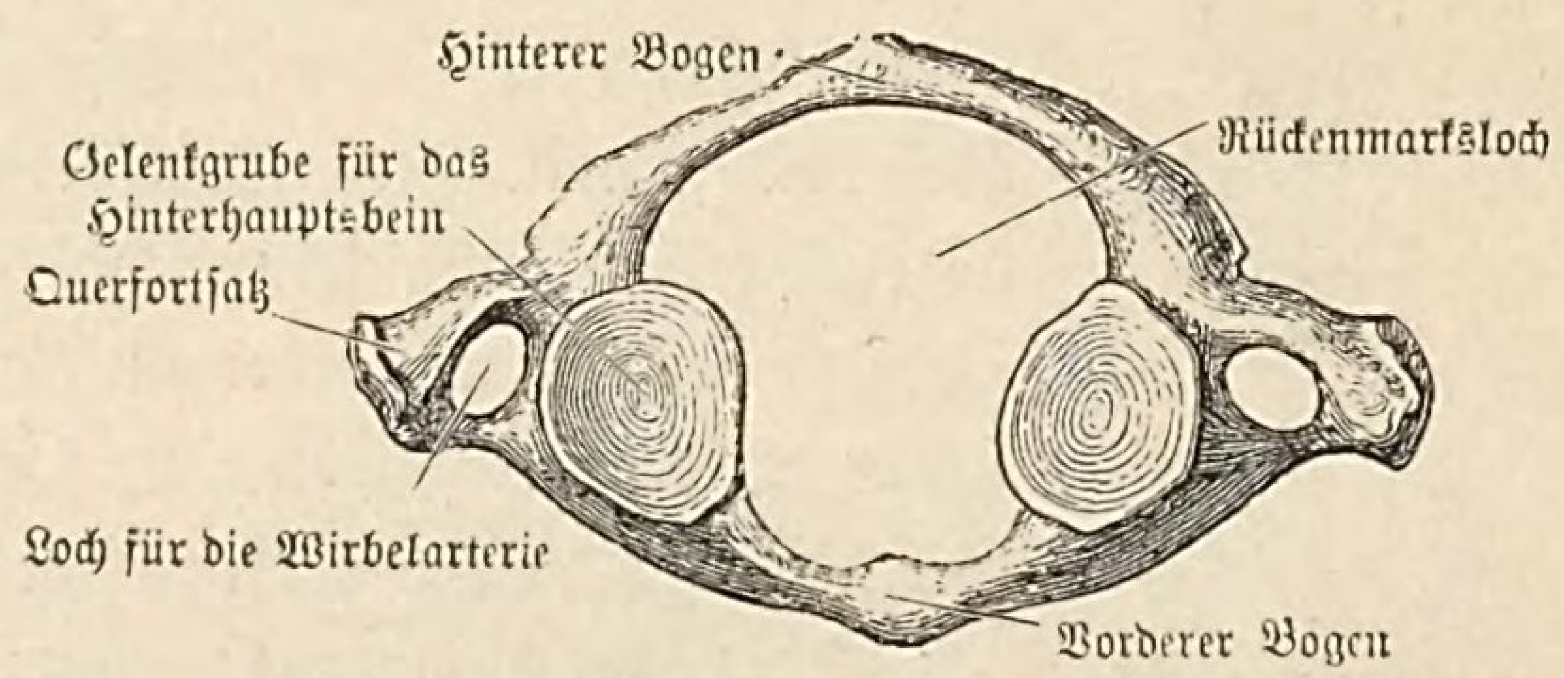
Der zweite Halswirbel, der Dreher oder Epistropheus, besitzt einen höheren Körper, von dessen oberer Fläche sich der „zahnförmige Fortsatz“, vorn mit einer ovalen Gelenkfläche zur

beweglichen Verbindung mit dem ersten Halswirbel versehen, erhebt. Statt der oberen Gelenkfortsätze finden sich zwei platte, ebene Gelenkfortsätze nahe am zahnförmigen Fortsatz, schräg nach außen und abwärts geneigt; die Querfortsätze und der Dornfortsatz des Drehers sind verbreitert und kurz (s. Abbildung, unten links).

Noch abweichender von dem typischen Bauschema der Halswirbel und der Wirbel überhaupt verhält sich der erste Halswirbel, welcher von alters her als Atlas oder Träger bezeichnet wird (s. Abbildung, oben rechts). Platon hatte das kugelige Haupt des Menschen mit der Himmelskugel verglichen, welche der griechische Mythus von dem Riesen Atlas getragen oder

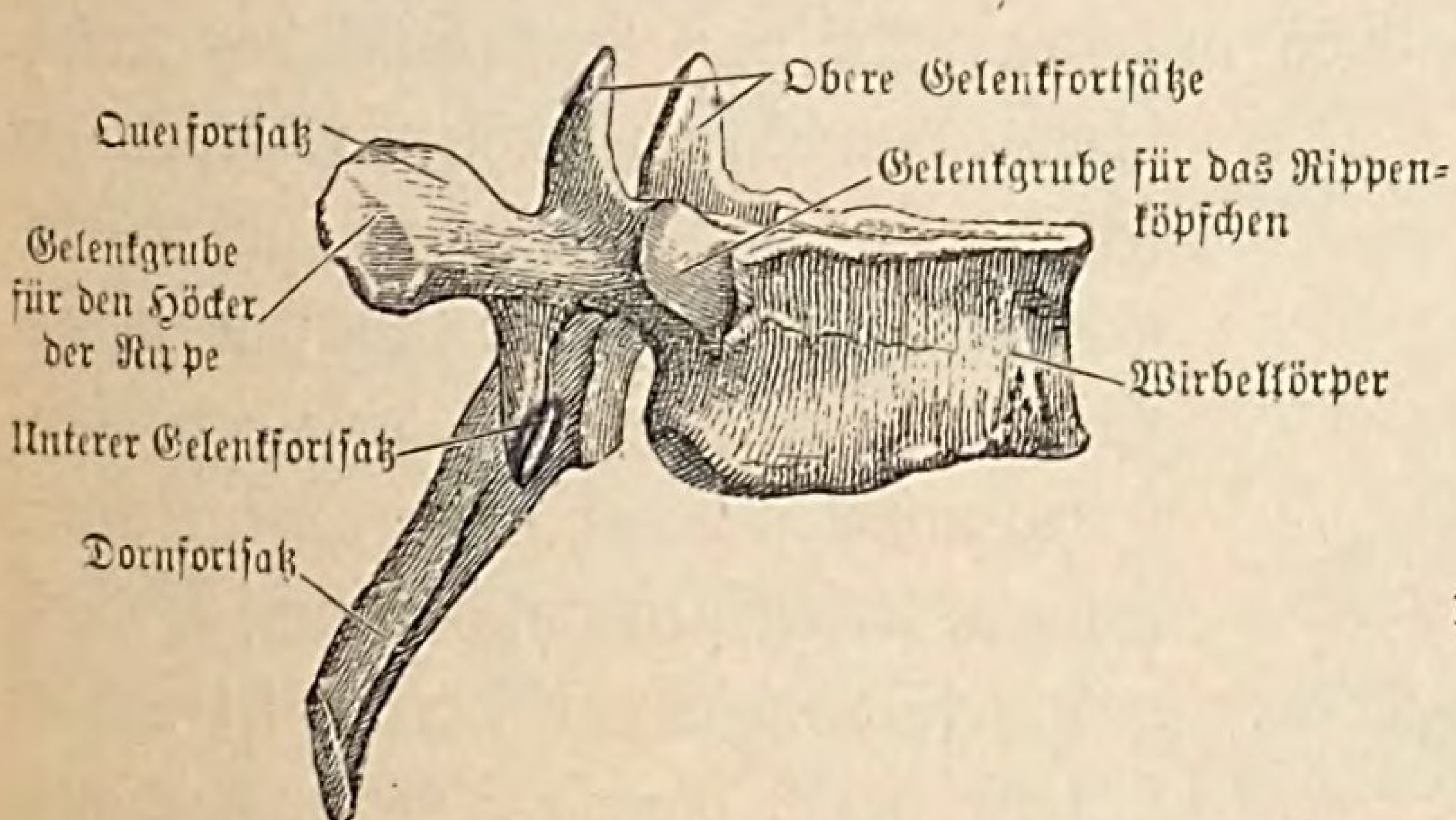


Der zweite Halswirbel (Epistropheus), von vorn gesehen. 2/3 natürl. Größe. Vgl. Text, S. 412.

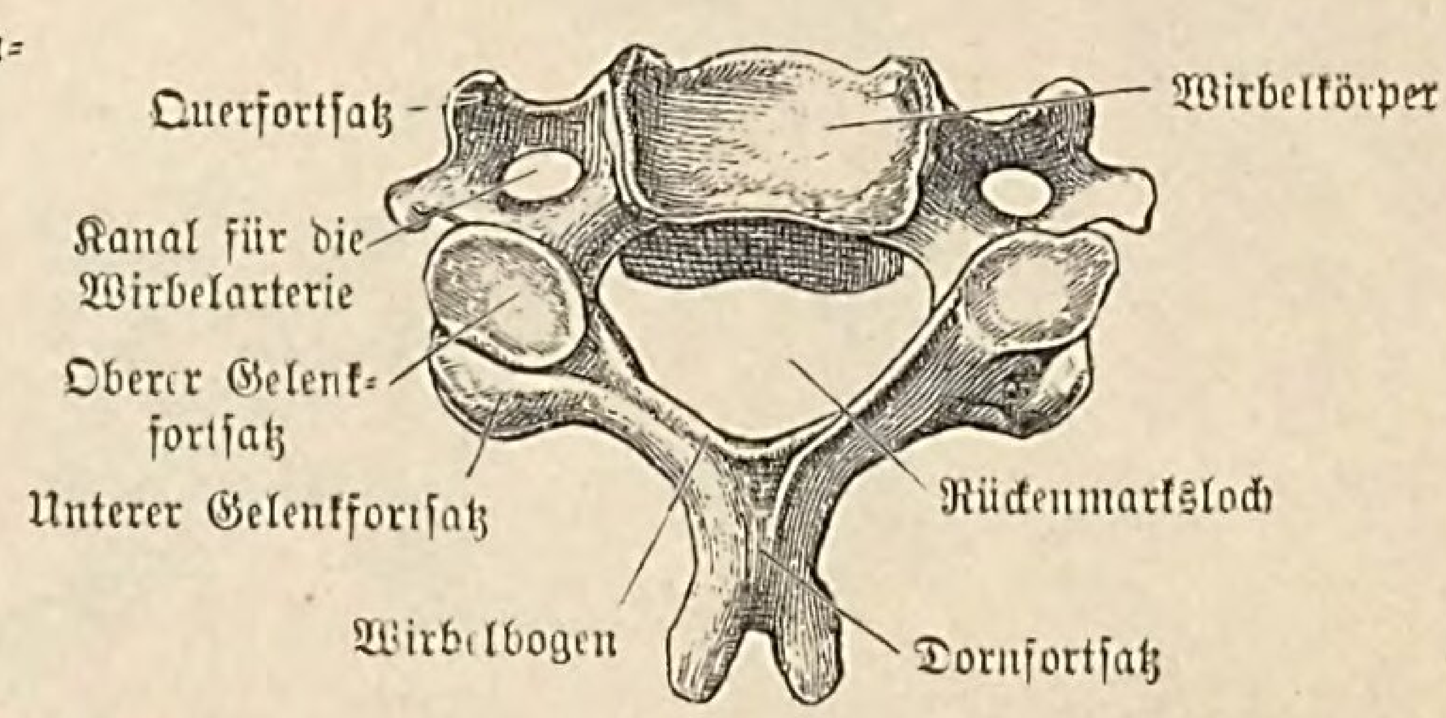


Der erste Halswirbel (Atlas), von oben gesehen. 2/3 natürl. Größe.

gestützt werden ließ. Der erste Wirbel besitzt keinen eigentlichen „Körper" und zeigt daher die spezifische Ringform der Wirbel besonders deutlich. Der Ring des Atlas setzt sich aus einem vorderen und einem hinteren, etwa gleichstarken Halbring zusammen. An der verdickten Vereinigungsstelle beider Halbringe liegen nach außen die besonders großen und mit dem größten Loche versehenen Querfortsätze. Dagegen erscheint der Dornfortsatz nur als ein kleines Höckerchen



Ein Brustwirbel, von der Seite gesehen. 2/3 natürl. Größe. Vgl. Text, S. 411.



Ein Halswirbel, von oben gesehen. 2/3 natürl. Größe. Vgl. Text, S. 412.

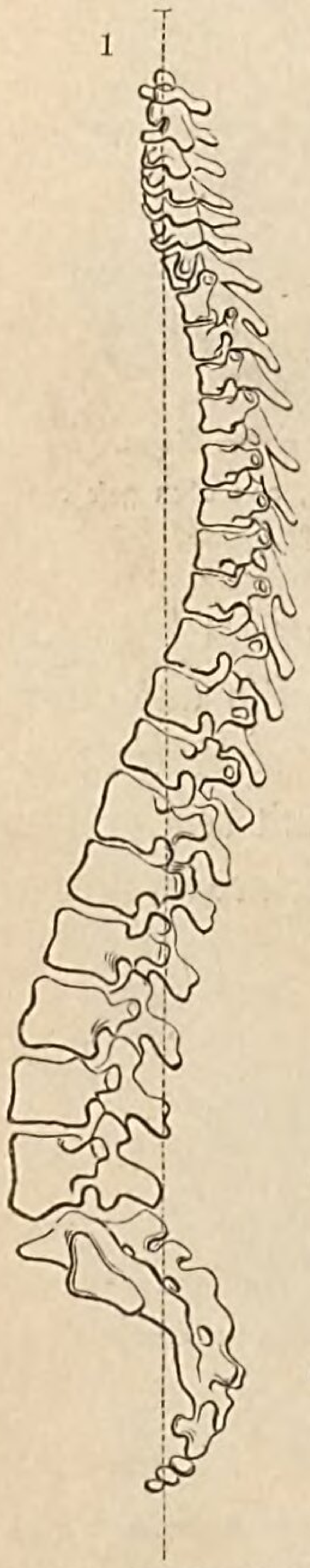
an der Außenflächenmitte des hinteren Halbringes, ein ähnliches Höckerchen an dem vorderen Halbring mahnt an den im übrigen fehlenden Wirbelkörper. Jedoch erfahren wir aus der Entwickelungsgeschichte, daß der Zahnfortsatz des Epistropheus in der Uranlage dem Körper des Atlas entspricht. An der inneren Fläche des vorderen Atlasbogens findet sich in der Mitte eine rundliche Gelenkfläche für die Bewegung mit dem Zahnfortsatz des Drehers, des zweiten Halswirbels. An Stelle der unteren Gelenkfortsätze treten ebene Gelenkflächen, an Stelle der oberen Gelenkfortsätze konkav ausgewölbte Gelenkgruben. Auf diesem Bau der beiden ersten Halswirbel beruhen die Beweglichkeit und die nur dem Menschen zukommende aufrechte Stellung des Kopfes, der auf der Spitze der Wirbelsäule balanciert.

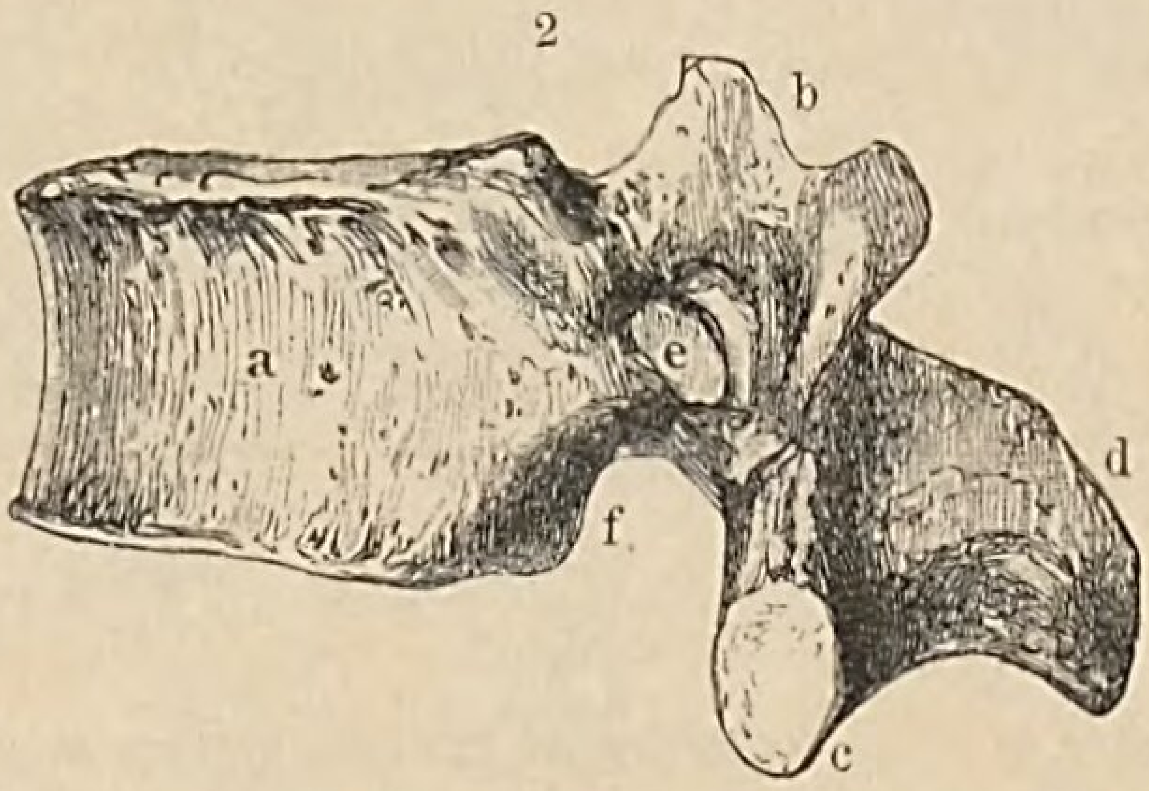
Die zwölf Brustwirbel (s. obenstehende Abbildung, links) sind ausgezeichnet durch kleine Gelenkflächen zur Verbindung mit den Rippen, diese finden sich seitlich am Körper, nahe dem Anfang des Wirbelbogens (für das Rippenköpfchen) und mit Ausnahme der zwei letzten Brustwirbel

auch am Ende jedes Querfortsatzes (für die Rippenhöckerchen). Je zwei aneinander stoßende Brustwirbel bilden gemeinschaftlich das Gelenkgrübchen für ein Rippenköpfchen, nur der elfte und zwölfte Brustwirbel haben vollkommene Gelenkgrübchen. Die Wirbelkörper nehmen vom ersten bis zum zwölften an Höhe zu. Der Wirbelbogen krümmt sich stark, so daß das große Wirbelloch nahezu als ein Kreis erscheint. Die Dornfortsätze sind lang, dreiseitig, zugespitzt, schief nach abwärts gerichtet, wodurch sie an den mittleren Brustwirbeln dachziegelförmig übereinander liegen.

Die fünf Lendenwirbel (s. untenstehende Abbildung, rechts) entsprechen am meisten der schematischen Beschreibung, die wir oben von den Wirbeln gegeben haben. Sie sind an dem gleichen Skelet in allen Durchmessern größer als die Hals- und Brustwirbel, das große Wirbelloch weiter. Die Dornfortsätze sind horizontal nach rückwärts gerichtet, hoch und schmal. Die Querfortsätze sind schwächer als an den Brustwirbeln, sie entsprechen entwickelungsgeschichtlich den Rippen; die eigentlichen Querfortsätze der Lendenwirbel sind auf ein stumpfes Höckerchen oder eine rauhe Leiste, den überzähligen Querfortsatz, reduziert, welcher zwischen dem oberen Gelenkfortsatz und der Wurzel des Querfortsatzes liegt.

Das Kreuzbein (Os sacrum) entwickelt sich aus fünf untereinander verwachsenden unvollständig entwickelten Wirbeln (s. Abbildungen, S. 415). Das Kreuzbein verbindet sich mit den beiden Beckenknochen, zwischen welche es auf der Rückenseite wie ein Keil eingetrieben ist, zur Bildung des Beckens. Die Gestalt des Kreuzbeines erinnert an eine Schaufel mit unterer querabgestutzter Spitze. Die beiden Seitenränder tragen an ihrem oberen, dickeren Ende die S- oder „ohrförmige Verbindungsfläche“ für die Hüftknochen. Nach unten nähern sich die Seitenränder einander und bilden jene abgestutzte Spitze, an welche sich das Steißbein oder Schwanzbein anheftet. An dem Mittelstück des Kreuzbeines, von den verwachsenen Körpern der dasselbe zusammensetzenden fünf Wirbel gebildet, läuft auf der Rückseite in der Mittellinie eine erhöhte Leiste, aus fünf Erhabenheiten bestehend; jederseits neben letzteren erscheinen wieder fünf andere, erstere sind Reste der Dorn-, letztere der Querfortsätze, daneben, weiter nach auswärts, je eine Reihe von vier die Seitenteile des Kreuzbeines durchsetzenden runden Öffnungen, Zwischenwirbellöcher. Durch das Innere des Kreuzbeines erstreckt sich ein aus der Vereinigung der Wirbelbogen gebildeter Kanal, die Fortsetzung des Wirbelkanals, der sich auf der Rückenfläche des Kreuzbeines als Kreuzbeinschlitz nach unten und außen öffnet. Die obere Fläche des Kreuzbeines verbindet sich mit dem letzten Lendenwirbel, mit diesem springt sein oberer Abschnitt in die Beckenhöhle als „Vorgebirge“ oder Promontorium vor.

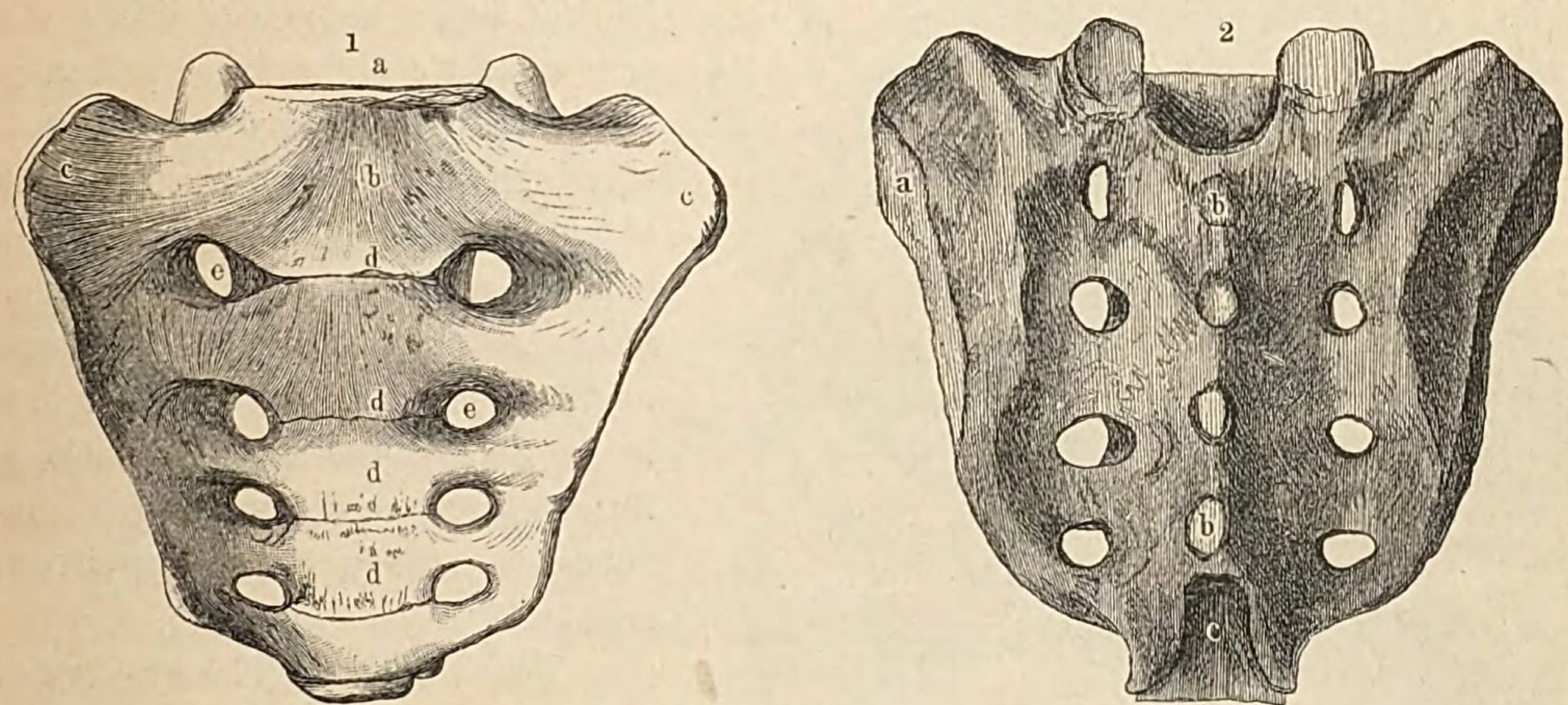
1


2


1) Die Wirbelsäule. Doppelt S-förmige Krümmung. Vgl. Text, S. 411 u. 415. 2) Ein Lendenwirbel, von der linken Seite gesehen. (Nach Hartmann.) a) Körper, b) oberer, c) unterer schiefer Fortsatz, d) Dornfortsatz, e) Querfortsatz, f) oberer und unterer Zwischenwirbelausschnitt.

Das Steißbein oder Schwanzbein (Os coccygis, s. Abbildung, oben links) wird in der Regel aus vier verkümmerten, beweglich miteinander verbundenen Wirbeln gebildet. Die Wirbelbogen sind an den Steißbeinwirbeln verschwunden, nur der Wirbelkörper scheint noch vorhanden; der oberste Steißbeinwirbel besitzt stumpfe Querfortsätze und ein paar aufwärts stehende Erhabenheiten, die als Hörner bezeichnet werden.

Die **Wirbelsäule des Menschen** steht nicht vollkommen vertikal, sondern zeigt sich namentlich deutlich bei seitlicher Ansicht in ganz bestimmter Weise doppelt S-förmig gekrümmt (s. Abbildung, S. 414, links). Der Halsteil ist mäßig konvex nach vorn, der Brustteil dagegen stärker konvex nach hinten gebogen, der Lendenteil wendet seine Konvexität wieder, wie der Halsteil, nach vorn, vom Vorgebirge des Beckens an bildet das Kreuzbein mit dem daran befestigten Schwanzbein einen sehr stark nach rückwärts konvex gekrümmten Bogen, dessen Spitze nach vorwärts gewendet ist. Jene Wirbelreihen, welche mit keinen Nebenknochen in Verbindung stehen (Hals- und Lendenwirbel), sind nach vorn konvex, dagegen die mit Nebenknochen verbundenen Wirbelreihen (Brustwirbel und Kreuzbein) nach hinten konvex gekrümmt. Bei dem Neugeborenen ist diese Krümmung der Wirbelsäule noch wenig entwickelt. Im höheren Alter wird die Konvexität der Brustwirbel stärker. Die stärkste nach vorn konvexe Krümmung liegt zwischen Lendenwirbelsäule und Kreuzbein, wo sie das mehrfach erwähnte Promontorium, das Vorgebirge, bildet.

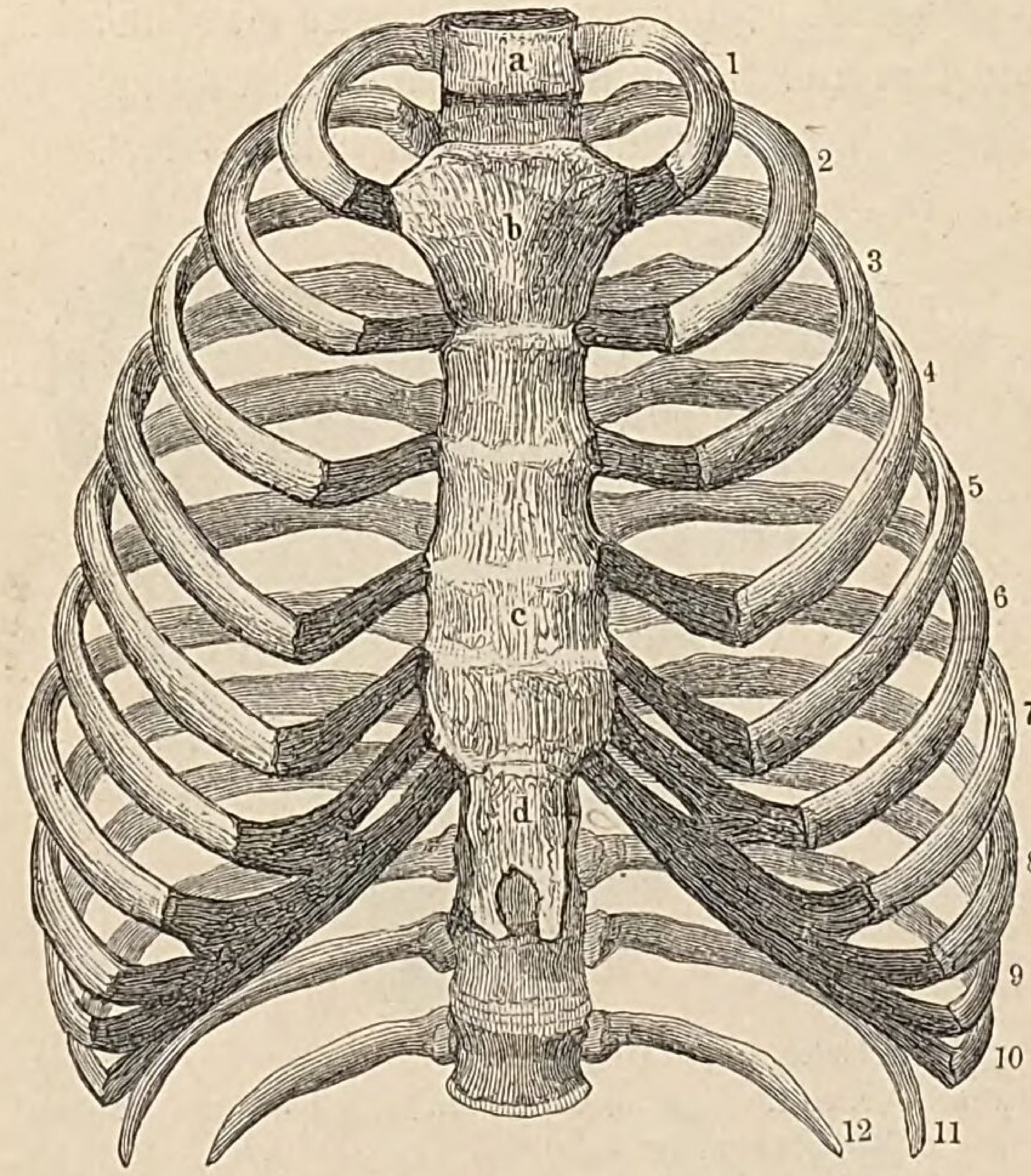


Das **Kreuzbein**. 1) von vorn, 2) von hinten. (Nach **Hartmann**.)
1a) Obere Fläche des Kreuzbeinwirbels, b) Vorgebirge des Beckens, c) Kreuzbeinflügel, d) Grenzlinien der verwachsenen Kreuzbeinwirbel, e) Zwischenwirbellöcher der Kreuzbeinwirbel. 2a) Ohrförmige Fläche, b) erhöhte Mittelleiste, falsche Dornfortsätze, c) Kreuzbeinschlitz. Vgl. Text, S. 414.

Der **Brustkorb** wird, abgesehen von der Wirbelsäule, von den Nebenknochen des Stammes, dem Brustbeine (Sternum) und den Rippen (Costae), hergestellt.

Das **Brustbein** erscheint von vorn gesehen als das Mittelstück des Brustkorbes und verbindet sich mit dem Schlüsselbein und den wahren Rippen. Es ist ein langer, breiter, aber dünner Knochen. Nach der Anschauung des klassischen Altertums besitzt ein schön gebildetes Brustbein eine gewisse Ähnlichkeit mit einem kurzen Schwert ohne Handschutz, man pflegt daher seine drei knorpelig miteinander verbundenen Abschnitte als Griff, Klinge und Spitze oder Schwertfortsatz zu unterscheiden (s. Abbildung, S. 416). Der Griff ist der obere, breitere Teil des Knochens mit oberem, halbmondförmig ausgeschnittenem Rande, welcher die untere Begrenzung der auffälligen Vertiefung am Halse des Menschen, die **Kehle**, bildet. Die beiden seitlichen Ränder zeigen je einen Ausschnitt zur Verbindung mit dem Schlüsselbein und nach abwärts zwei weniger tiefe Ausschnitte für die Aufnahme der beiden ersten Rippen. An den Seitenrändern der Klinge des Brustbeines finden sich je sechs zur Anheftung der Rippen dienende gelenkartige Vertiefungen. Der Schwertfortsatz, weniger breit als die Klinge, endet unten in eine abgerundete Spitze und bleibt oft während des ganzen Lebens ganz oder zum Teil knorpelig. Anderseits finden sich auch die drei Teilstücke des Brustbeines bei alten Leuten nicht selten zu einem Ganzen knöchern verwachsen.

An der Bildung des **Brustkorbes** (s. untenstehende Abbildung) sind jederseits zwölf **Rippen** (Costa, die Rippe) beteiligt. Man unterscheidet **wahre** und **falsche Rippen**; als wahre Rippen werden die sieben oberen, welche sich von vorn direkt mit dem Brustbein verbinden, bezeichnet. Jede Rippe ist ein bogenförmig gekrümmter, flacher Knochen mit mehr oder weniger scharfem oberen und unteren Rande. Jede Rippe geht vorn in ein knorpeliges Ergänzungsstück, den **Rippenknorpel**, aus. Das an dem Wirbelkörper durch ein Gelenk befestigte knöcherne Rippenende heißt Wirbelköpfchen, neben ihm liegt der Rippenhöcker, welcher an die Gelenkfläche des Querfortsatzes des ihm entsprechenden Wirbels beweglich angeheftet ist. Zwischen Köpfchen und Höcker bildet eine verschmälerte Partie den Rippenhals. Etwas vor dem Höcker liegt die Rippenecke.



Der **Brustkorb.** (Nach **Hartmann.**)
1—12) Erste bis zwölfte Rippe. a) Erster Brustwirbel, b c d) Brustbein, b) Handgriff, c) Körper, d) schwertförmiger Fortsatz.

Die erste Rippe ist kürzer, mehr gekrümmt, breiter und stärker als alle übrigen. Auch die zweite Rippe zeichnet sich durch ihre starke Krümmung aus, bildet aber sonst in der Form einen Übergang zu den unteren Rippen. Diese strecken sich von der ersten bis siebenten mehr und mehr gerade und nehmen bis zur siebenten an Länge zu. Die siebente Rippe ist die längste, die folgenden werden nun wieder kürzer. Der freie Raum zwischen je zwei Rippen wird als **Zwischenrippenraum** bezeichnet.

Der Brustkorb (Thorax) erscheint im ganzen als ein faß- oder korbähnliches Knochengerüst, die Rippen stellen die Reifen des Fasses vor. Der Brustkorb ist nach vorn abgeflacht, nach hinten wird er am breitesten; oben relativ schmal, ist er unten, am Ende des Brustbeines, am weitesten. Der unter dem Brustbeinende liegende, nach vorn offene Abschnitt des Brustkorbes verschmälert sich wieder. Die vordere Wand des Brustkorbes, vom Brustbein und den Knorpeln der wahren Rippen gebildet, ist kürzer und flacher als die übrigen Wandabschnitte. Sie wendet sich von oben an schräg nach auswärts, so daß die untere Entfernung des Brustbeines von der Wirbelsäule etwa doppelt so groß wird als die obere. Die hintere Wand ist durch die in die Brusthöhle vorspringenden Wirbelkörper stark nach einwärts gebogen und geht ohne Grenze in die verhältnismäßig langen Seitenteile der Wandung über. Eine stark vorspringende, volle und konvex gewölbte Brust ist ein Zeichen eines kraftvollen, gesunden Körperbaues. Der größte Umfang des Brustkorbes fällt etwa in die Mitte seiner Höhe.

Das Knochengerüst des Armes und des Beines.

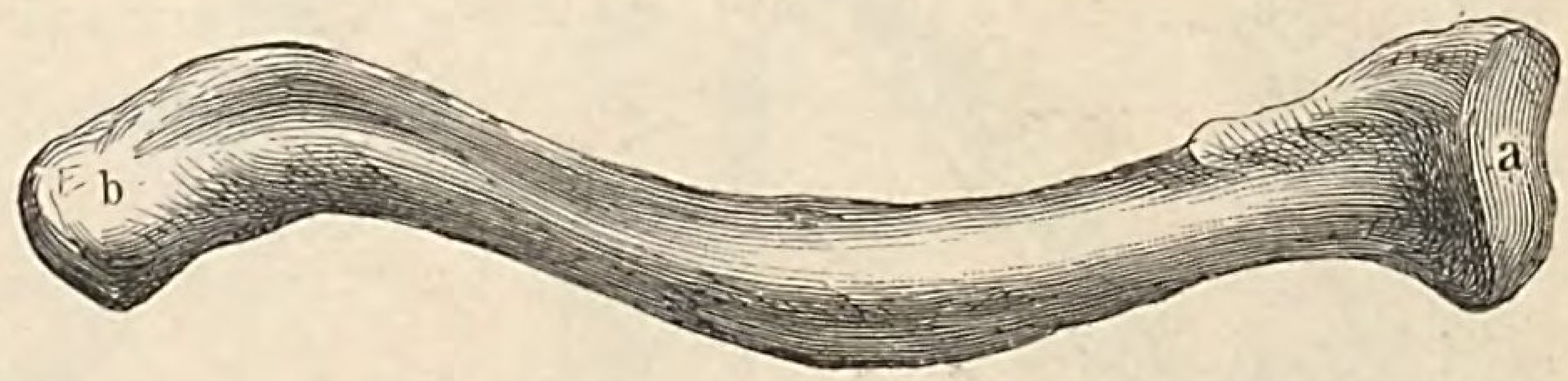
Arme und **Beine**, die **oberen** und die **unteren Extremitäten**, sind im allgemeinen nach gleichem Schema gebaut. Sowohl bei den Armen als bei den Beinen wird die knöcherne Grundlage der sich direkt an den Rumpf anschließenden Partien derselben, die **Extremitäten-Gürtel**,

Schultergerüst und Becken, durch breite Knochen gebildet. Dagegen bestehen die folgenden Hauptabteilungen des Arm- und Beinskelets aus langen, röhrenförmigen Knochen, deren Anzahl sich in der Richtung gegen das Ende der Extremität hin von 1—5 vermehrt. Die große Beweglichkeit der oberen Extremitäten, der Arme mit den Händen, welche diese als die beweglichsten Teile des menschlichen Körpers erscheinen lassen, ist Folge der mehrfachen Gliederung ihres knöchernen Gerüstbaues und des geringen Zusammenhanges des knöchernen Schultergürtels mit dem Knochengerüst des Stammes. Die unteren Extremitäten, die Beine, werden durch geringe Modifikationen, die namentlich im Bau und in der Verbindung ihres Knochengürtels, des Beckens, hervortreten, geeignet, als steife und feste Tragsäulen des gesamten Körpers zu dienen.

Jede obere Extremität gliedert sich in vier untereinander beweglich verbundene Hauptabteilungen: Schultergürtel, Oberarm, Vorderarm und Hand; an der Hand unterscheiden wir Handwurzel, Mittelhand und Finger.

Die zwei Knochen, welche das knöcherne Schultergerüst, den Schultergürtel, bilden, werden als Schlüsselbein und Schulterblatt bezeichnet.

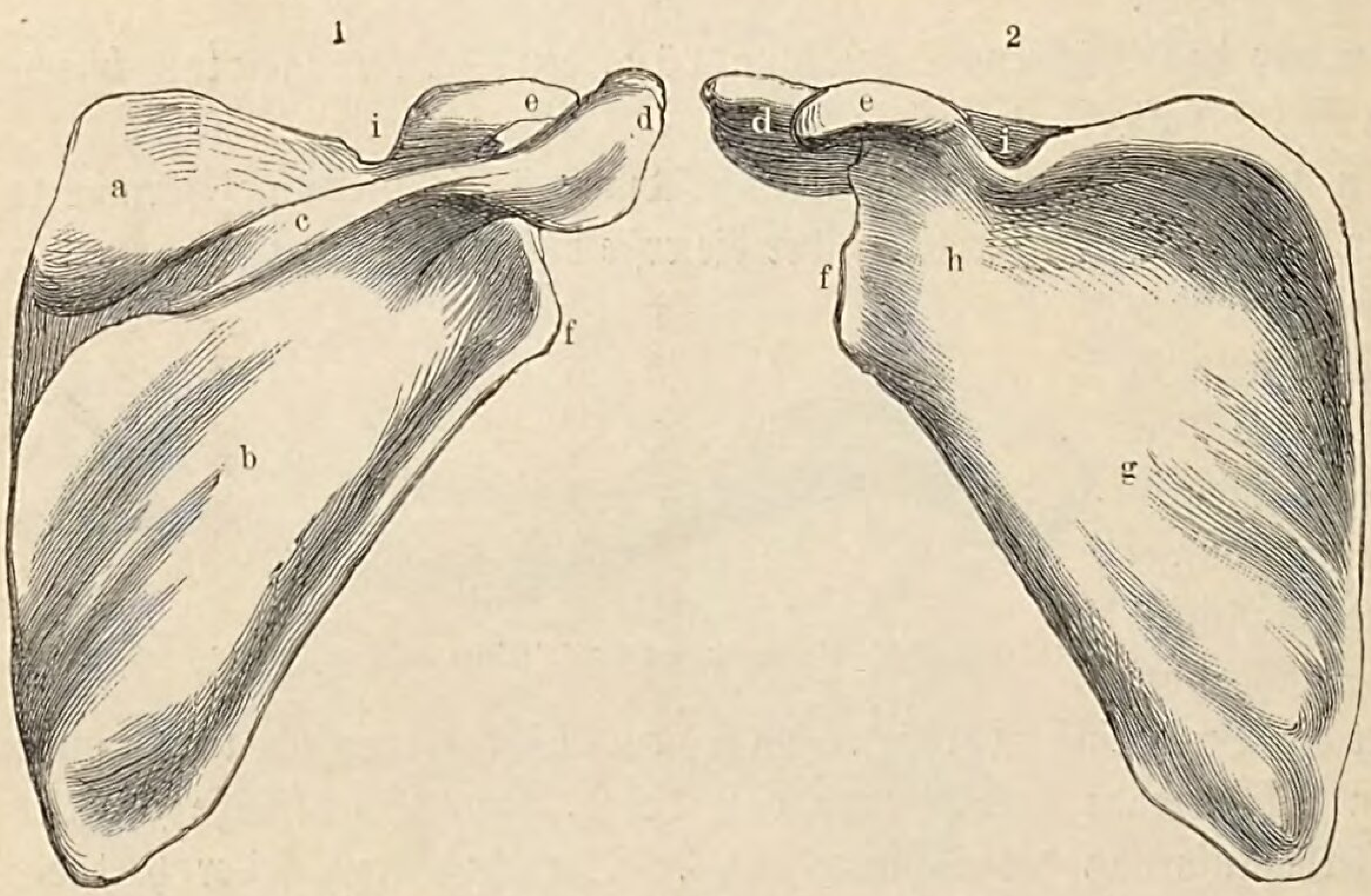
Das Schlüsselbein (Clavicula, s. untenstehende Abbildung) ist ein schwach S-förmig gekrümmter, rippenähnlicher, starker Knochen, welcher über die erste Rippe, sich mit dieser kreuzend, verläuft und das einzige knöcherne Verbindungsglied der oberen Extremität mit dem Stamme darstellt; die Verbindung findet am Brustbeinhandgriff statt. Mit dem inneren, etwas aufgetriebenen Ende stützt sich das Schlüsselbein auf den zu seiner Aufnahme bestimmten Gelenkausschnitt des Brustbeinhandgriffes. An seinem äußeren, von oben nach unten flachgedrückt erscheinenden Schulterende bemerkt man eine kleine, ovale Gelenkfläche zur Verbindung mit dem Schulterhöhenfortsatz des Schulterblattes. Wie ein Strebepfeiler hält das Schlüsselbein die Schulter in der gehörigen Lage zur Brust und wird dadurch zu einem wichtigen Faktor für die Freiheit der Armbewegungen.



Das linke Schlüsselbein von der Unterseite. a) Brustbein-, b) Schulterende.

Das Schulterblatt (Scapula, s. Abbildung, S. 418) verbindet sich wieder nur durch eine einzige, ziemlich kleine Gelenkfläche mit dem Schlüsselbein und durch dieses mit dem Rumpfskelet und zeigt daher eine beträchtliche Beweglichkeit. Das Schulterblatt hat die Form eines ungleichseitigen Dreieckes. Beide Schulterblätter liegen wie an den Rücken angezogene Flügel auf der Hinterwand des Brustkorbes, den sie von der zweiten bis achten Rippe teilweise bedecken. Das Schulterblatt ist namentlich in einem Teile seiner mittleren Partien sehr dünn, manchmal sogar durchscheinend. Seine vordere, dem Brustkorb anliegende Fläche ist leicht konkav gewölbt. Die hintere, freie Fläche wird durch eine leistenförmig über sie hinlaufende Erhöhung, die Schultergräte (Spina scapulae), in einen kleineren, oberen Abschnitt, die Obergrätengrube, und in einen unteren Abschnitt, die Untergrätengrube, geteilt. In der Richtung nach außen und oben verlängert sich die Schultergräte in einen breiten, von oben nach unten flach gedrückten Fortsatz, die Schulterhöhe, welcher das oben erwähnte kleine Gelenk mit dem Schlüsselbein bildet und das Schultergelenk des Armes wie ein Schutzdach deckt. Die Schulterhöhe (Acromion) bildet den durch die Haut zu fühlenden Schulterknochen. Von den drei Rändern, welche das Dreieck des Schulterblattes begrenzen, ist der obere Rand am kürzesten, er zeigt an seinem äußeren Ende einen tiefen Einschnitt, den Schulterblattausschnitt (Incisura). Am längsten ist der innere Rand. Von den drei Winkeln ist der untere abgerundet, der obere, nach innen gewendete, freie mehr zugespitzt; der obere, nach außen gewendete Winkel dagegen, an welchem sich die Gelenkverbindung mit dem

Oberarmknochen findet, ist dick, massiv und mit einer ovalen, flachen Gelenkgrube für den Kopf des Oberarmknochens ausgestattet, welche durch eine Furche, den Hals des Schulterblattes, von dem übrigen Knochen etwas abgeschnürt erscheint. Zwischen der Schultergelenkgrube und dem beschriebenen Ausschnitt am oberen Rande des Schulterblattes erhebt sich ein gekrümmter Knochenfortsatz, der *Rabenschnabelfortsatz* (Processus coracoideus), welcher mit der Schulterhöhe, etwas mehr nach innen als diese, das Schultergelenk überwölbt. Das Schulterblatt gehört zu den besonders beweglichen Knochen des Skeletes. Lassen wir die Hände und Arme ruhig herabhängen, so sind die inneren Ränder der zwei Schulterblätter der Wirbelsäule parallel gerichtet. Heben wir den Arm bis in die vertikale Richtung, so hebt sich auch der untere Winkel des Schulterblattes und entfernt sich, indem er sich dabei in einem Kreisbogen bewegt, von der Wirbelsäule.

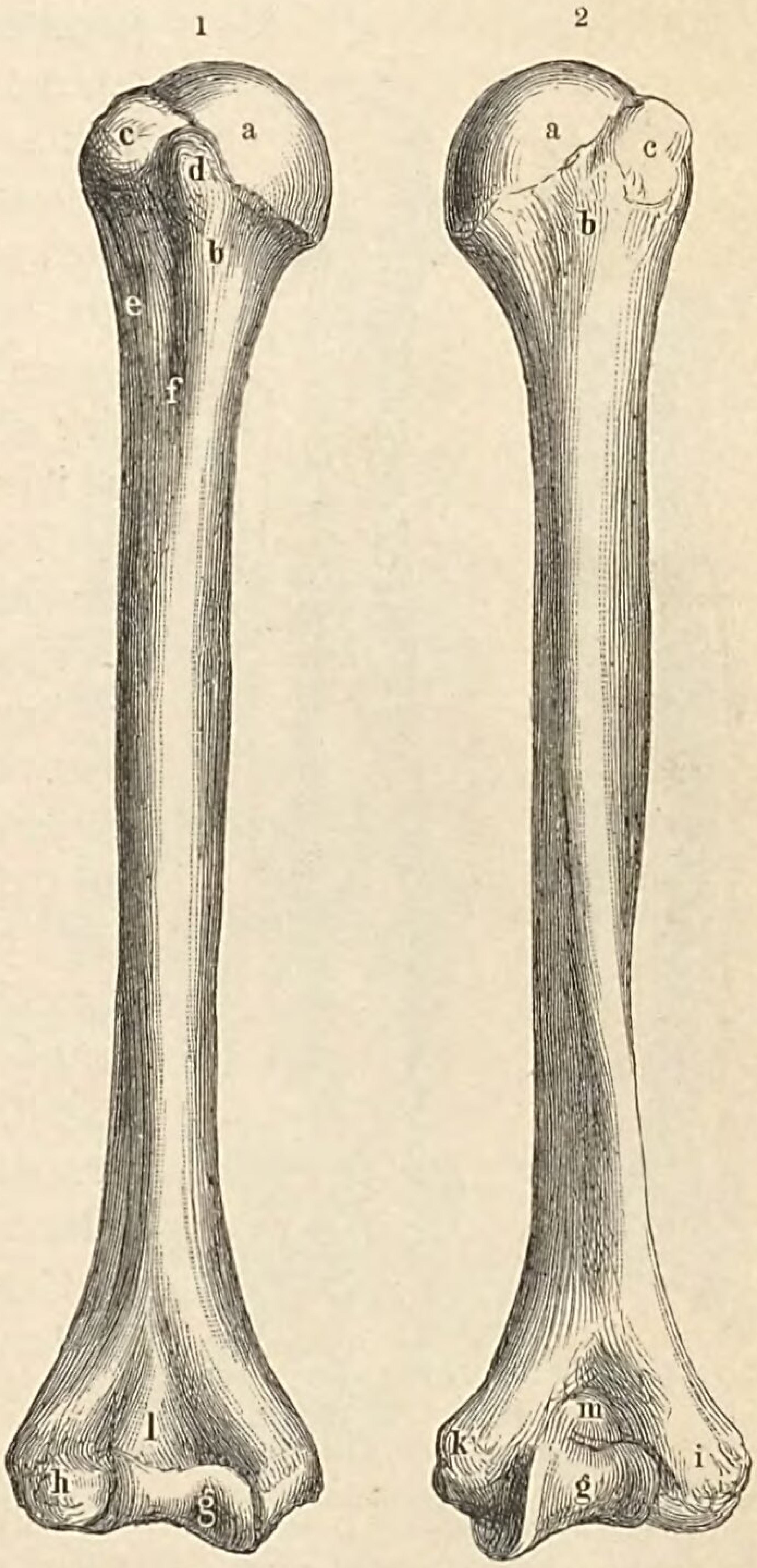


Das Schulterblatt. 1) von hinten, 2) von vorn.
a) Obergrätengrube, b) Untergrätengrube, c) Schultergräte, d) Schulterhöhe, e) Rabenschnabelfortsatz, f) Rand der Gelenkfläche, g) konkave Unterfläche, h) Hals, i) Schulterblattausschnitt. Vgl. Text, S. 417.

Das *Oberarmbein* (s. Abbildung, S. 419), nach dem Oberschenkelbein der längste Knochen des Skelets, bildet die alleinige knöcherne Grundlage des Oberarmes. Wir unterscheiden an ihm, wie an allen Röhrenknochen, ein Mittelstück (Diaphyse), ein oberes und ein unteres Endstück (Epiphyse), beide im Vergleich zum Mittelstück etwas angeschwollen. Das obere Endstück bildet den halbkugeligen Gelenkkopf, welcher sich mit der Gelenkgrube des Schulterblattes zum Schultergelenk verbindet und von dem Mittelstück durch eine schwache Furche oder Einschnürung, Hals, abgegrenzt wird. Jenseit dieser Furche stehen zwei Höcker: dem Gelenkkopf gegenüber nach außen der *größere äußere Höcker* (Tuberculum majus), welcher in eine rauhe Leiste ausläuft; von dem äußeren Höcker durch eine relativ tiefe Rinne getrennt, nach vorn der *kleine Höcker* (T. minus), welcher ebenfalls in eine rauhe Linie endet. An dem unteren, breiteren und von vorn nach hinten etwas abgeflachten Endstück dienen jedem der beiden Unterarmknochen besondere Gelenkpartien. Der Verbindung mit der Elle dient die *Rolle* (Trochlea), ein kurzer, quer liegender Cylinder, über welchem vorn (Fossa cubitalis) sowohl als auf der Rückseite (Fossa olecrani) sich grubenförmige Vertiefungen finden, von denen namentlich die hintere tief erscheint; beide Gruben sind bei dem Menschen voneinander nur durch eine sehr dünne, durchscheinende Knochenlage getrennt, welche manchmal sogar zentral durchbohrt ist, wie das für viele Säugetiere und auch für manche Affen typisch erscheint. Neben der Rolle liegt ein kugeliges *Köpfchen* (Capitulum) zur Verbindung mit dem Speichenknochen des Vorderarmes. Der äußere und innere Rand des unteren Endstückes bilden je eine höckerartige Hervorragung, den *äußeren* und den größeren *inneren Oberarmknorren* (Epicondylus lateralis und E. medialis). Das annähernd cylindrisch erscheinende Mittelstück des Oberarmbeines zeigt sich in seinem unteren Drittel schwach nach einwärts gebogen.

Dem **Vorderarm** gewähren zwei nebeneinander liegende und gegeneinander bewegliche Röhrenknochen, die mächtigere **Elle** (Ulna) und die etwas schwächere **Speiche** (Radius), Festigkeit und Beweglichkeit (s. Abbildung, S. 420).

Das **Ellenbein** ist an seinem oberen Ende, welches viel massiger ist als das untere, durch einen tiefen halbmondförmigen Ausschnitt ausgehöhlt, welcher vollkommen genau die Rolle des Oberarmbeines zu umgreifen vermag. Infolge dieser Bildung läuft das obere Endstück der Elle in einen gekrümmten Haken, den **Hakenfortsatz**, aus, an dessen Hinterfläche der **Ellbogenhöcker** (Olecranon) hervortritt. Die vordere Fläche des Ellbogenhakens bildet den Gelenkausschnitt für die Rolle und läuft nach ab- und vorwärts in den kleineren dreieckigen **Kronenfortsatz** (Processus coronoideus) aus, an welchem man noch eine äußere kleinere Gelenkfläche bemerkt für die Aufnahme des Speichenköpfchenrandes. Das Mittelstück der Elle ist sehr schwach S-förmig gekrümmt. Das untere Endstück der Elle bildet eine Art von Köpfchen mit einer in der Mitte etwas eingedrückten Gelenkfläche; am hinteren Umfange des Köpfchens ragt ein 6—7 mm langer, stumpfspitziger Fortsatz, der **Griffelfortsatz der Elle** (Processus styloideus), herab.



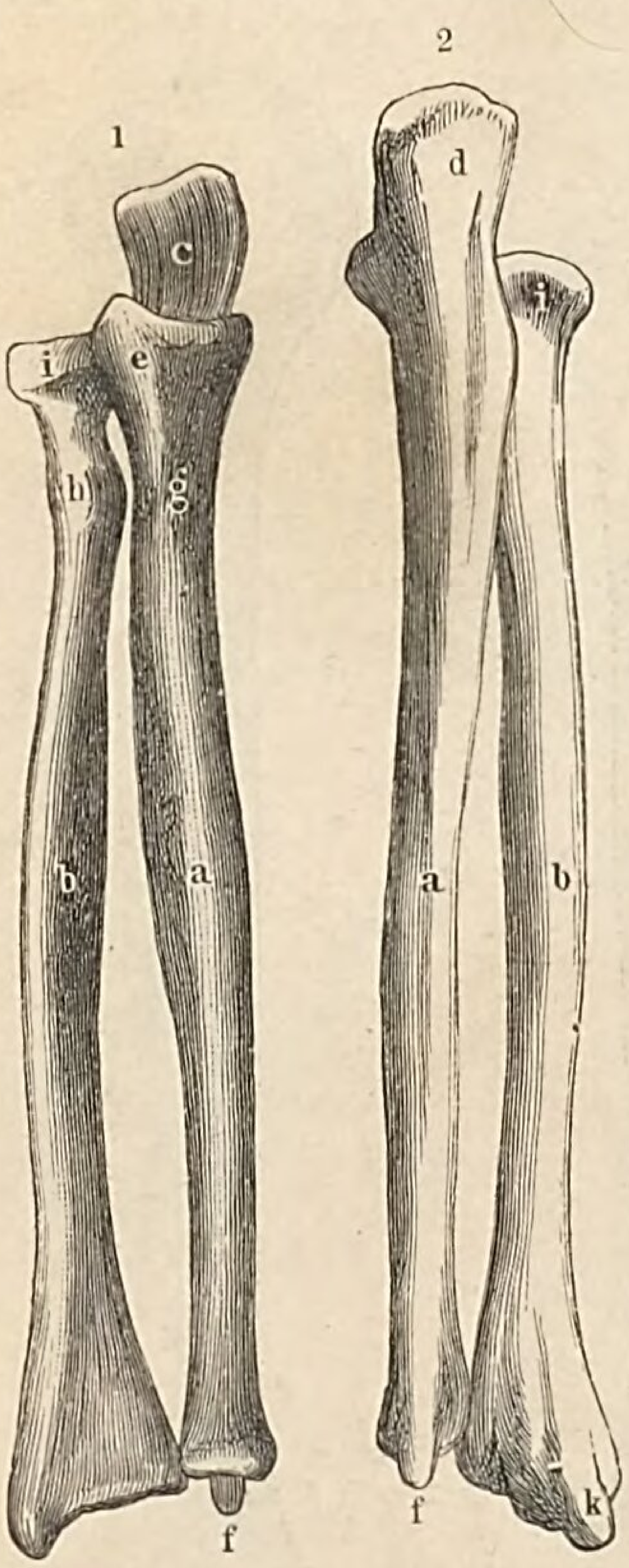
Das rechte **Oberarmbein**. 1) Von vorn, 2) von hinten. a) Kopf, b) Hals, c) großer, d) kleiner Höcker, e) Rauhigkeit des großen, f) des kleinen Höckers, g) Gelenkrolle, h) Gelenkköpfchen, i) innerer, k) äußerer Oberarmknöchel, l) Fossa cubitalis), m) Fossa olecrani. Vgl. Text, S. 418.

Während die Elle nach dem Handgelenk zu an Masse abnimmt, ist die **Speiche** unten dicker und massiger; oben trägt sie ein auf einem engeren Halse aufsitzendes Köpfchen. Dieses hat eine flach vertiefte Gelenkfläche, welche sich sowohl mit dem kugeligen Köpfchen am unteren Ende des Oberarmbeines als mit dem kleinen Gelenkausschnitt am Kronenfortsatze der Elle zu einem Doppelgelenk verbindet. Am Halse liegt ein rauher Höcker, die rauhe Stelle der Speiche (Tuberositas radii). Das dreiseitige Mittelstück biegt sich schwach nach vorn. Die größte Fläche des unteren massigen Endstückes ist gegen die Handwurzel gerichtet und konkav oder halbmondförmig ausgeschnitten; auch seitlich zeigt sich ein schwacher, halbmondförmiger Ausschnitt zur Verbindung mit dem Köpfchen der Elle. Diesem letzteren Ausschnitt gegenüber verlängert sich das Speichenendstück zu einem stumpfen Höcker, welcher als **Griffelfortsatz der Speiche** der gleichbenannten Knochenverlängerung an der Elle entspricht. Die Speiche ragt mit ihrem unteren Ende etwas weiter nach abwärts als die Elle, welche dafür mit ihrem Hakenfortsatz höher am Oberarm emporgreift. Während die Elle die Hauptverbindung des Vorderarmes mit dem Oberarm vermittelt, stellt vorzüglich die Speiche die Gelenkverbindung mit der Handwurzel her.

Die **Hand**, das „Organ der Organe“, das Organon organorum der alten Anatomen, besteht in ihrer knöchernen Grundlage aus 27 Einzelknochen, zu welchen gewöhnlich noch fünf

kleine Sehnenknöchelchen, **Sesambeine**, hinzukommen, welche in den Sehnen der Finger liegen. Die Handwurzel setzt sich aus 8 Handwurzelknochen, die Mittelhand aus 5 Mittelhandknochen, und die fünf Finger setzen sich aus 14 Fingergliedknochen zusammen (s. Abbildung, S. 421).

Jener Teil der Hand, welcher sich mit dem Ende des Vorderarmes beweglich verbindet, wird als **Handwurzel** bezeichnet. Die Handwurzel wird durch eine unregelmäßige Mosaik kleiner, in zwei Reihen zu je vier gruppierter Knochen aufgebaut. In der ersten oder oberen Knochenreihe folgen einander, wenn wir von der Speichenseite des Vorderarmes zu zählen beginnen, Kahnbein, Mondbein, dreieckiges Bein und Erbsenbein (Os naviculare, lunatum, triquetrum, pisiforme); in der zweiten, der Mittelhand zugewendeten Reihe finden wir, in derselben Richtung zählend: das große vieleckige Bein, das kleine vieleckige Bein, das Kopfbein, das Hakenbein (Os multangulum majus und minus, capitatum, hametum). Diese glücklich gewählten Namen geben einen besseren Begriff von ihrer Gestalt als eine ausführliche Beschreibung.



Speiche und Elle. 1) Von vorn, 2) von hinten.

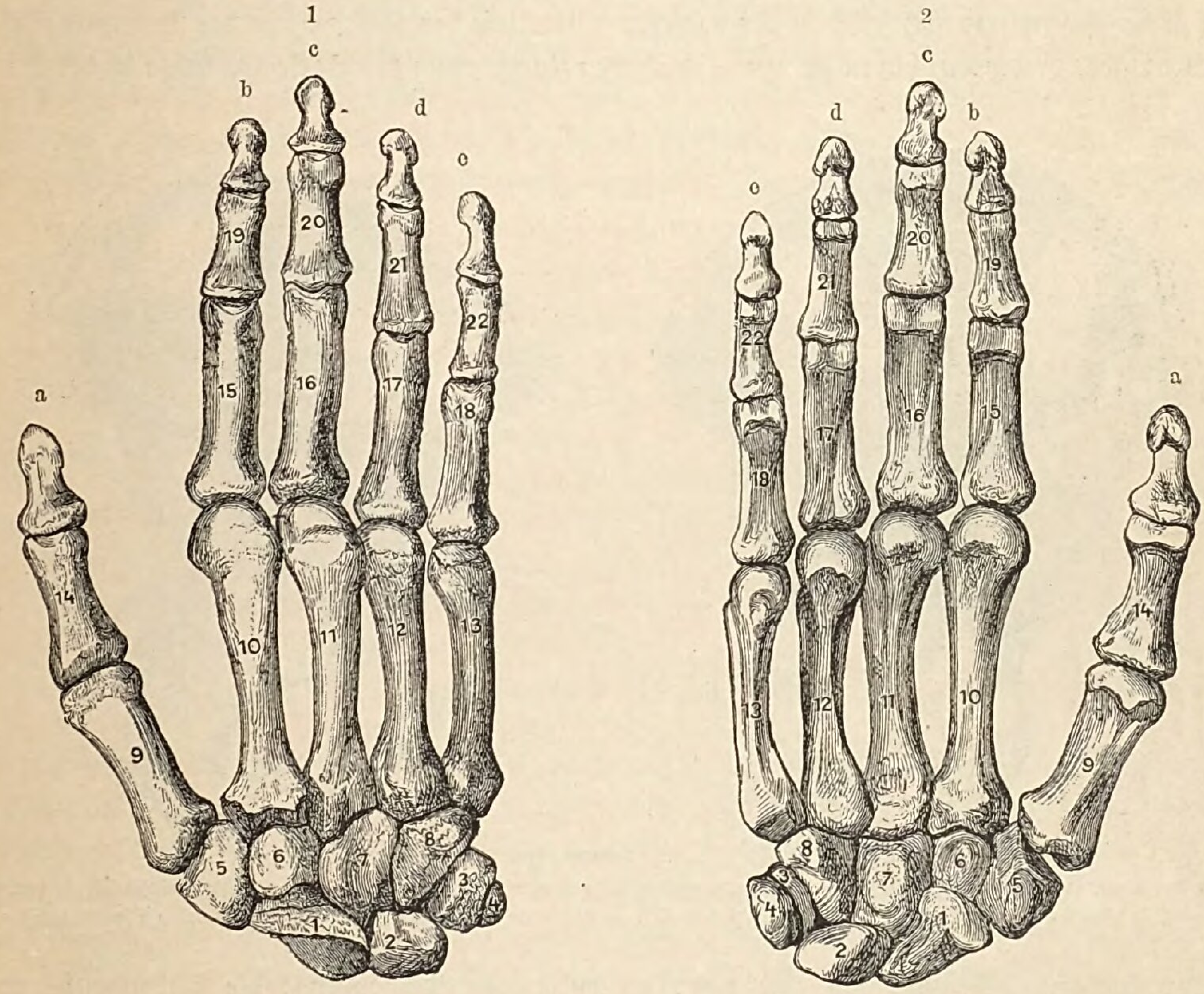
a) Elle, b) Speiche, c) Gelenkausschnitt, d) Ellbogenhaken und -Höcker, e) Kronenfortsatz, f) und k) Griffelfortsatz der Elle und der Speiche, g) und h) Rauhigkeit der Elle und der Speiche, i) Köpfchen der Speiche. Vgl. Text, S. 419.

Die drei ersten Handwurzelknochen der oberen Reihe bilden zusammen einen gewölbten Gelenkkopf, welcher in der Gelenkvertiefung am Ende des Vorderarmes zwischen den zwei Griffelfortsätzen das in hohem Grade bewegliche Handwurzelgelenk bildet. Der aus den vier Handwurzelknochen der zweiten Reihe bestehende untere Rand der Handwurzel trägt eine Reihe von fünf Gelenkflächen für die fünf langen Knochen (Ossa metacarpi) der Mittelhand (Metacarpus). An dem großen vieleckigen Beine befindet sich die **Gelenkfläche für den Mittelhandknochen des Daumens**, sie unterscheidet sich von den übrigen, welche winkelig aus- und eingeschnitten erscheinen, durch ihre **sattelförmige** Gestalt, wodurch die freie Beweglichkeit des Daumens bedingt wird. Die Handwurzel wölbt sich als Ganzes konvex gegen den Handrücken, konkav gegen die Hohlhand; hier springen namentlich die äußersten Knöchelchen jeder Reihe auf beiden Seiten stark vor und bilden die beiden Handwurzelerhöhungen. Von einer zur anderen läuft quer, brückenförmig (die beiden Hervorragungen bilden die Brückenpfeiler) ein starkes Band herüber, das quere **Handwurzelband**, unter welchem wie in einem Kanal die Sehnen jener Muskeln verlaufen, welche die Aufgabe haben, die Finger zu beugen.

Die zweite Abteilung der knöchernen Hand, ihr am wenigsten beweglicher Teil, ist die **Mittelhand** oder der **Handteller**, aus den fünf, abgesehen vom Daumen, ziemlich fest miteinander verbundenen Mittelhandknochen bestehend, welche vom Daumen gegen den kleinen Finger gezählt werden. Es sind kleine Röhrenknochen, an welchen man, wie an längeren Knochen der Art, Endstücke und Mittelstück unterscheidet. Das untere Endstück bildet ein Köpfchen mit ausgewölbter Gelenkfläche, seitlich etwas zusammengedrückt, beiderseits mit einem Grübchen zur Befestigung von Bändern; die oberen, der Handwurzel zugewendeten Endstücke haben breite, schräg abgestutzte Gelenkflächen, welche sich an den Berührungsstellen der benachbarten Mittelhandknochenenden auch noch seitlich fortsetzen. Jeder Mittelhandknochen ist der Länge nach kaum bemerkbar gekrümmt und zwar schwach konvex gegen den Handrücken. Der **Mittelhandknochen**

des **Daumens** zeigt, von den übrigen abstehend, eine freie Beweglichkeit, welche den übrigen abgeht, beruhend auf der oben beschriebenen sattelförmigen Gelenkfläche seines Endstückes. Das Mittelstück des Daumenmittelhandknochens ist im Unterschied gegen die übrigen breiter und kürzer und von oben nach unten etwas flach gedrückt.

Die 14 Knochen der **Finger** (Fingerphalangen) sind trotz ihrer Kleinheit ebenfalls zu den langen Knochen zu rechnen. Der **Daumen** hat zwei, alle übrigen Finger je drei Fingerglieder oder Fingerphalangen, welche an den Gelenkstellen etwas aufgetrieben erscheinen. Alle Phalangen



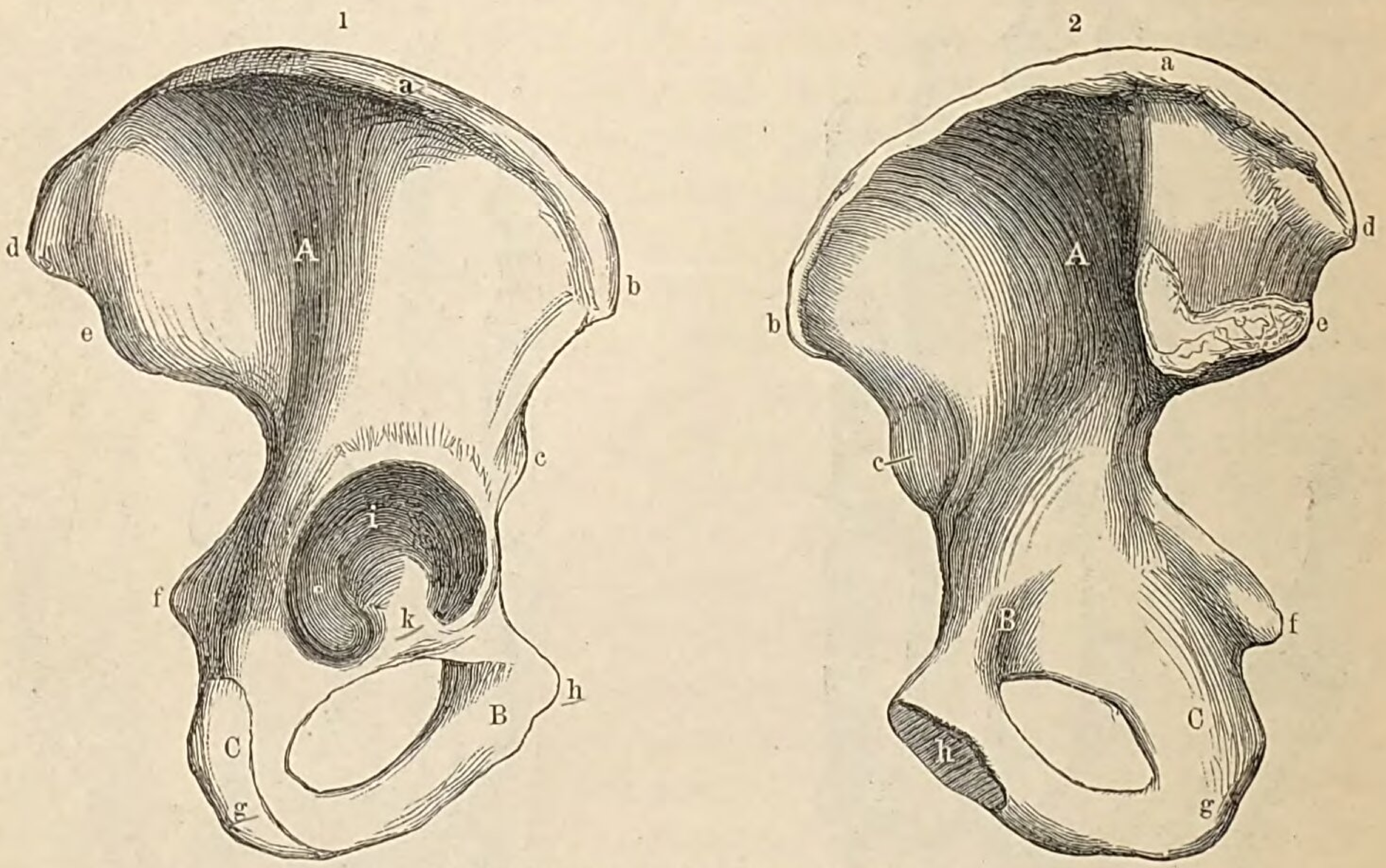
Das **rechte Handskelet** (nach **Hartmann**). 1) Rückenansicht, 2) Handflächenansicht.

1) Schiffbein, 2) Mondbein, 3) dreieckiges Bein, 4) Erbsenbein, 5) großes, 6) kleines vieleckiges Bein, 7) Kopfbein, 8) Hakenbein, 9—13) Mittelhandknochen, 14—18) erste Reihe der Phalangen, 19—22) zweite Reihe, b bis e) dritte Reihe derselben, a) zweite Daumenphalange. Vgl. Text, S. 420.

sind länglich, flach gedrückt und äußerst schwach konvex gegen die Rückenfläche der Hand gebogen. Das **erste Glied** jedes knöchernen Fingers besitzt an seinem der Mittelhand zugewendeten Ende eine konkave Gelenkfläche zur Aufnahme der konvexen Köpfchen der Mittelhandknochen. An ihrem unteren Ende bemerken wir zwei rundliche, durch einen Einschnitt getrennte Gelenkerhabenheiten, welche zusammen eine Art von Gelenkrolle bilden; an den Außenseiten trägt jede zwei rauhe, zur Bandanheftung dienende Grübchen. Das **zweite Fingerglied**, welches dem Daumen mangelt, hat eine der Gelenkrolle des ersten angepaßte Gelenkvertiefung am oberen Ende, am unteren dagegen wieder eine Art Rolle. Das **dritte Glied**, welches bei dem Daumen das zweite darstellt, hat wieder eine der Rolle des vorhergehenden Gliedes entsprechende Gelenkvertiefung und läuft am Ende in ein rauhes, schaufelförmiges Plättchen aus.

Die Übereinstimmung im Bau der unteren mit der oberen Extremität spricht sich, wie wir sahen, zunächst darin aus, daß auch die untere Extremität, das Bein mit dem Becken, sich in vier beweglich verbundene Abteilungen gliedert, welche den Abteilungen der oberen Extremität, des Armes mit dem Schultergerüst, entsprechen. An der unteren Extremität unterscheiden wir: die Beckenpartie als Hüfte, sodann den Oberschenkel und den Fuß; der Fuß zerfällt selbst wieder in Fußwurzel, Mittelfuß und Zehen.

Das Hüftbein (Os coxae; s. untenstehende Abbildung) entspricht also gewissermaßen der Schulter. Indem beide Hüftbeine das schaufelförmige Ende des Rückgrates, das Kreuzbein, zwischen sich fassen und sich selbst in der vorderen Mittellinie des Körpers, in der Beckensymphyse, miteinander verbinden, bilden sie den geschlossenen Knochenring des Beckens. Etwa in der Mitte

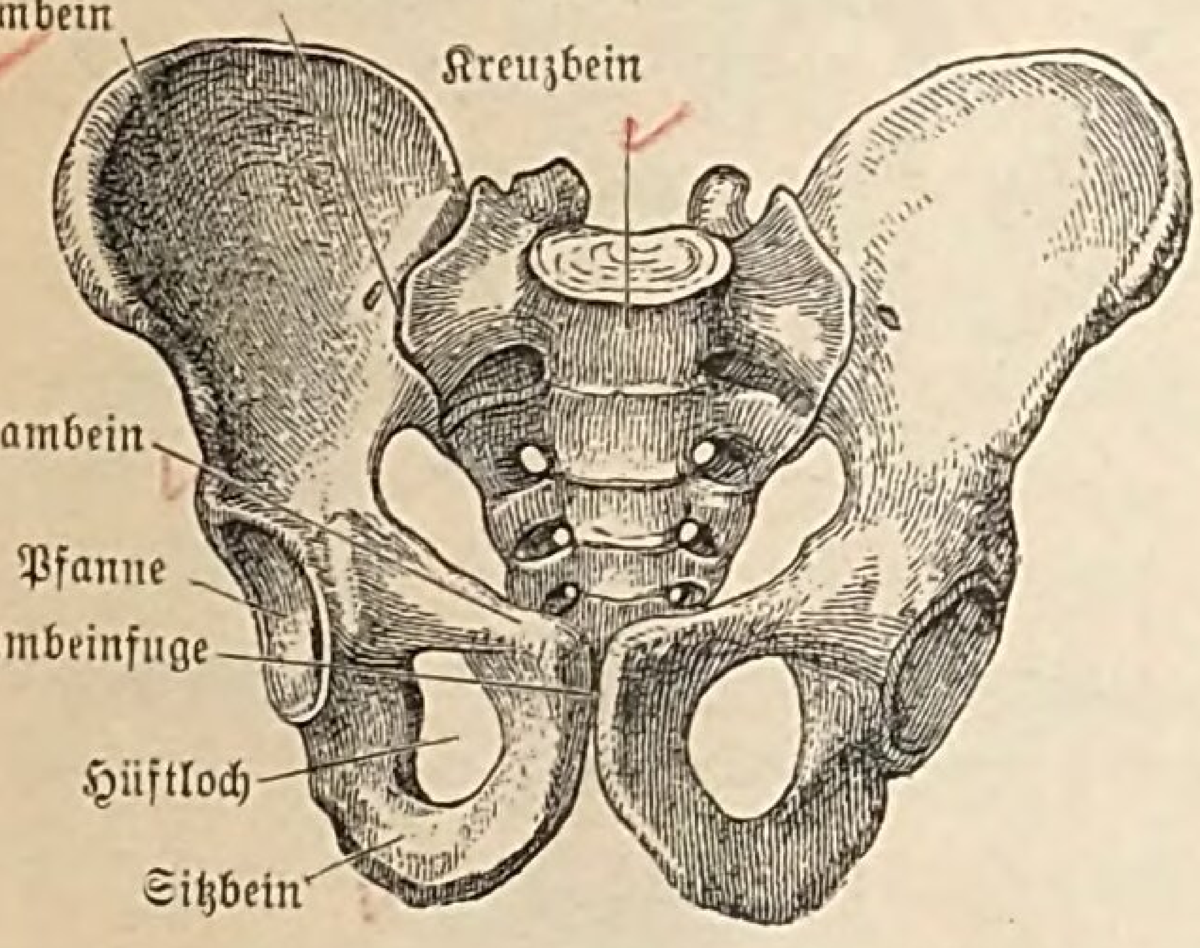


Das Hüftbein. 1) Von außen, 2) von innen.
A) Darmbein, B) Schambein, C) Sitzbein. a) Darmbeinkamm, b) vorderer oberer, c) vorderer unterer Darmbeinstachel, d) hinterer oberer, e) hinterer unterer Darmbeinstachel, f) Sitzbeinstachel, g) Sitzknorren, h) Symphyse, i) Gelenkpfanne, k) Pfannenausschnitt.

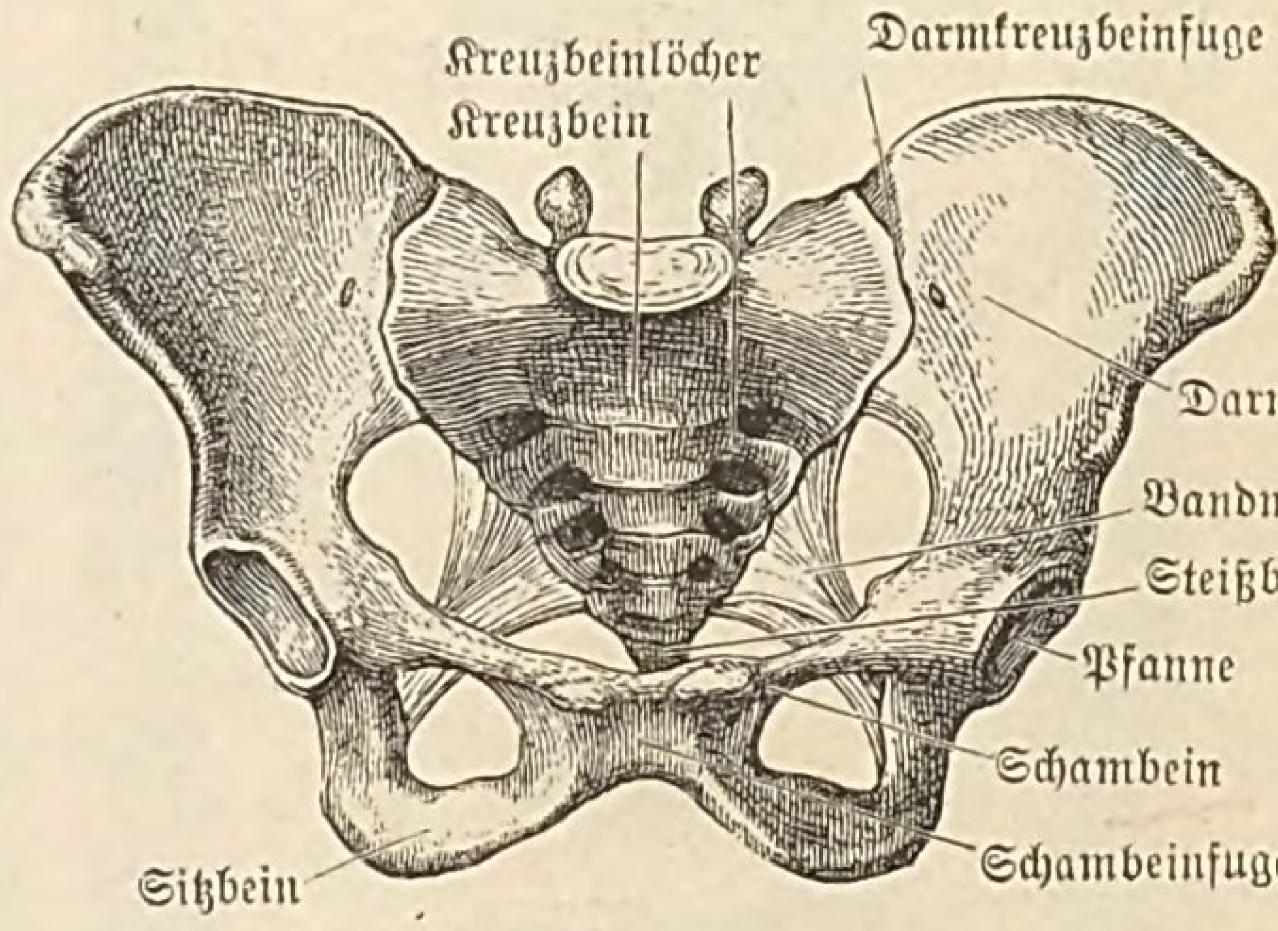
jedes Hüftbeines befindet sich eine tiefe, schalenförmige Aushöhlung, die Gelenkgrube oder Pfanne, zur Aufnahme des Oberschenkelkopfes. Bei neugeborenen Kindern gehen durch die Mitte dieser Grube winkelig aufeinander stoßende Spaltungslinien, welche das Hüftbein durch dazwischengelagerten Knorpel in drei etwa im 16. Lebensjahre erst vollkommen verwachsene Abschnitte trennen, in Darmbein (Os ilium), Sitzbein (Os ischii) und Schambein (Os pubis). Alle drei beteiligten sich an der Bildung der Pfanne: das Darmbein liegt über ihr, das Sitzbein unter ihr, das Schambein an ihrer inneren Seite. Das Darmbein stellt den oberen breiten, schaufelförmigen Teil des Hüftbeines dar; Sitzbein und Schambein bilden zusammen einen am unteren Ende des Hüftbeines als eine Art Handgriff liegenden Knochenbogen. Dieser umgreift eine große, neben der Pfanne (Acetabulum) etwas nach innen liegende, annähernd ovale Öffnung, das eiförmige oder verstopfte Hüftbeinloch (Foramen obturatum). Das Darmbein bildet mit seiner massigeren Basis die obere Wand der Pfanne; über dieser verflacht und verbreitert es sich zur Darmbeinschaufel. Die äußere platte Fläche ist im vorderen Abschnitt konvex, im hinteren Abschnitt konkav gebogen. Die innere Fläche trennt der schräg von hinten nach vorn und unten gerichtete scharf-winkelige Vorsprung der inneren Bogenlinie in einen größeren oberen

und einen kleineren unteren Teil. In seiner vorderen Hälfte ist der obere Teil platt und ausgesprochen konkav; an der hinteren Hälfte bemerken wir den Darmbeinhöcker und vor diesem die ohrmuschelförmige Verbindungsstelle mit dem entsprechend gestalteten Seitenteil des Kreuzbeines. Der kleinere untere Teil des Darmbeines beteiligt sich an der Bildung der Seitenwand des „kleinen Beckens" und des Pfannengrundes. Der obere Rand des Darmbeines bildet den breiten, nach oben konkaven, im ganzen S-förmig gekrümmt verlaufenden Darmbeinkamm. Fast senkrecht von den Endpunkten des Darmbeinkammes, von denen der vordere als vorderer oberer Darmbeinstachel (Spina anterior superior) benannt wird, fallen der hintere und der vordere Darmbeinrand ab. Der vordere Rand erscheint konkav ausgeschnitten und endet über der Pfanne mit dem vorderen unteren Darmbeinstachel (Spina anterior inferior); der hintere, noch stärker ausgeschnittene Rand beginnt mit dem hinteren oberen Darmbeinstachel, zwischen welchem und dem hinteren unteren Darmbeinstachel sich ein kleiner Ausschnitt befindet; auf den unteren Stachel folgt ein tiefer Ausschnitt, der große Darmbeinausschnitt. Das **Sitzbein** wird in den massigeren

1



2



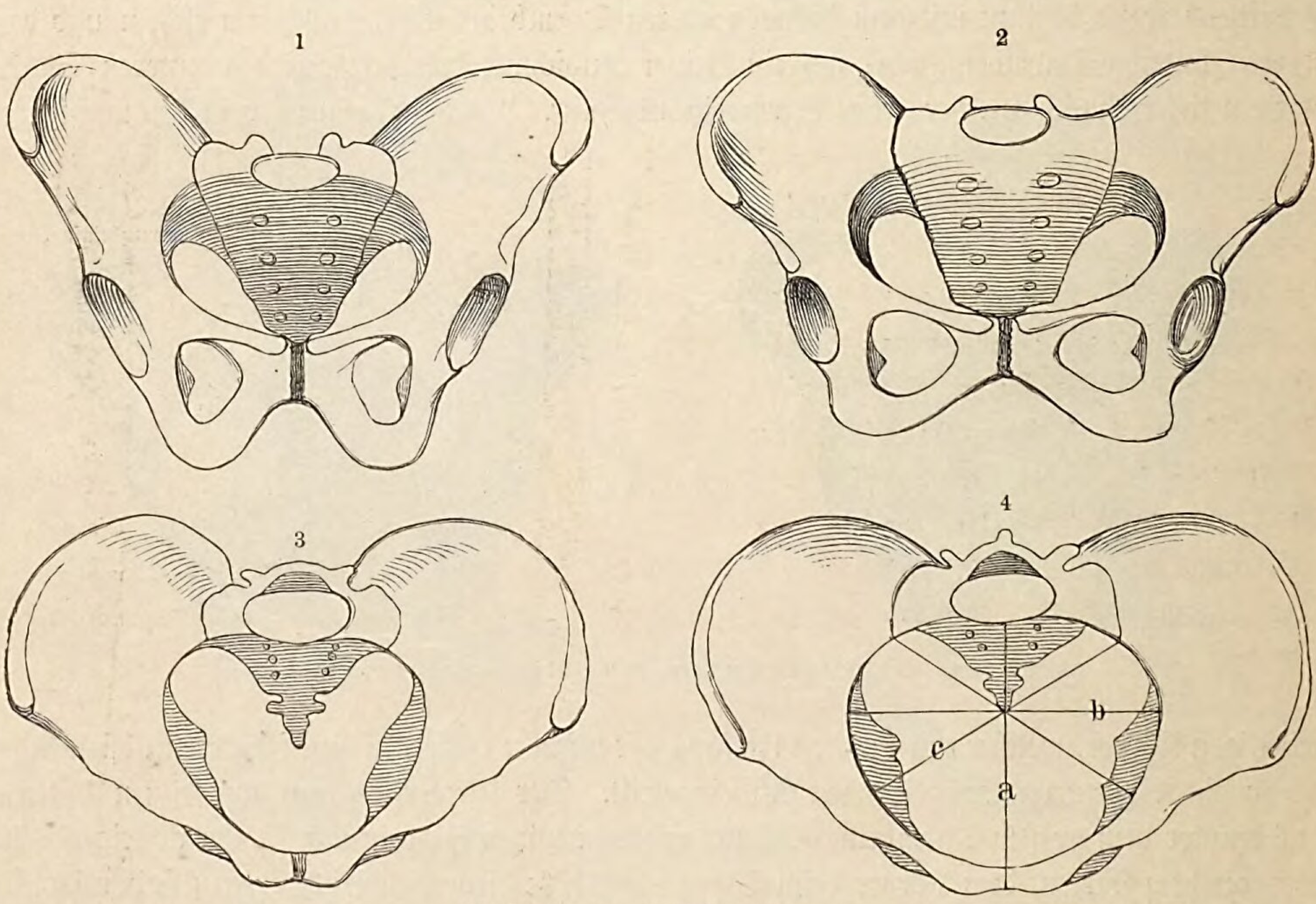
1) **Männliches Becken** von vorn, 2) **weibliches Becken** von vorn.

dreiseitigen Körper, welcher den unteren Umfang der Pfanne bildet, in einen dickeren absteigenden und in einen dünneren aufsteigenden Ast eingeteilt. Der Körper beginnt an seinem hinteren Rande unter dem großen Darmbeinausschnitt mit dem spitzen Sitzbeinstachel. Der absteigende Ast endet mit dem starken, dem Körper beim Sitzen als Stütze dienenden Sitzknorren (Tuber ischii), von dem sich der flach gedrückte aufsteigende Ast nach innen und oben erhebt. Das **Schambein** oder Leistenbein besteht aus einem oberen horizontalen und einem absteigenden Aste. Der erstere bildet die innere Pfannenwand, trägt an dem Ende des oberen Randes den Schambeinhöcker und schließt mit einer breiten Verbindungsfläche, welche sich mit einer entsprechenden des gleichnamigen Knochens der anderen Körperseite durch eine knorpelige Zwischenlage, eine typische **Symphyse**, verbindet, den **Beckenring** nach vorn ab. Diese Verbindungsstelle wird als Beckensymphyse oder **Schambeinfuge** (Symphysis pubis) bezeichnet.

Die **Hüftgelenkpfanne** wird von einem scharfen Rande begrenzt, der an dem nach abwärts sehenden Rande von einem Ausschnitt (Incisura acetabuli) unterbrochen wird. Die sonst glatte, innere Fläche zeigt sich an ihrer am meisten ausgetieften Stelle in der Mitte rauh zur Anheftung eines inneren starken, **runden Gelenkbandes** (Ligamentum rotundum).

Das **weibliche Becken** ist im allgemeinen weiter und kürzer als das **männliche**, und seine Darmbeinschaufeln sind etwas flacher gestellt, mehr ausgebogen (s. obenstehende Abbildungen). Man unterscheidet am Becken eine obere Öffnung und eine viel engere untere Öffnung. Die innere Bogenlinie der Darmbeine, welche diese in den größeren und den kleineren unteren Abschnitt trennt, bildet auch die Grenze zwischen dem weiteren oberen Teile des Beckens, dem von

den Darmbeinschaufeln und dem oberen Teile des Kreuzbeines gebildeten Großen Becken, und dem engeren unteren Teile, dem Kleinen Becken. Der Hohlraum des Großen Beckens, welcher zur Vergrößerung der Bauchhöhle und als Widerlager für dessen Eingeweide dient, geht, trichterförmig enger werdend, in das Kleine Becken über. Die obere Beckenöffnung wird durch das Vorspringen des Vorgebirges, des Promontoriums, am oberen Ende des Kreuzbeines in der Richtung von hinten nach vorn verengert. Um die individuelle Weite des Beckens zum Behufe der Beckenmessung zu bestimmen, zieht man eine Anzahl von Linien und mißt deren Länge (s. untenstehende Abbildungen, Fig. 4). Besonders wichtig sind je zwei Linien im Beckeneingang und im Beckenausgang. Eine Linie, welche wir von der Mitte des Promontoriums am Kreuzbein zum oberen Rande der Symphyse, der Verwachsungsstelle der beiden Schambeine, ziehen, wird als gerader



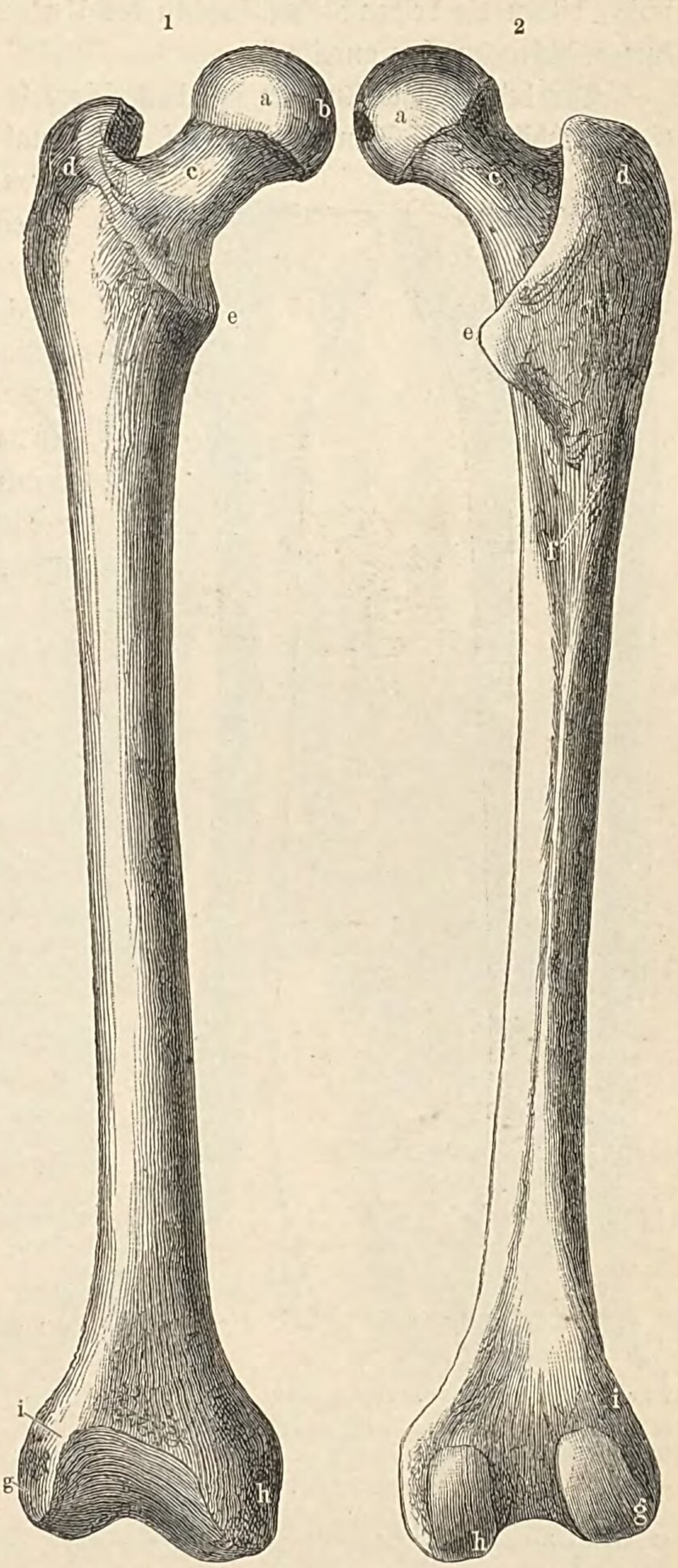
Beckenformen (nach Gegenbauer).
1) und 3) männliche, 2) und 4) weibliche Becken. 1) und 2) Ansicht von vorn und etwas von unten, 3) und 4) Ansicht von oben senkrecht auf den Beckeneingang. a) gerader, b) querer, c) schräger Beckendurchmesser.

Durchmesser des Beckens (Conjugata) bezeichnet; zwischen den größeren Abständen der das Große vom Kleinen Becken trennenden scharfen inneren Bogenlinie zieht man senkrecht auf die Richtung des geraden Durchmessers den queren Beckendurchmesser. In der unteren Beckenöffnung zieht man als geraden Durchmesser eine Linie von der Spitze des Schwanzbeines oder, da dieses beweglich ist, besser von dem Ende des Kreuzbeines zum unteren Rande der Symphyse als queren Durchmesser eine Linie zwischen den beiden Sitzknorren. In der Höhle des Kleinen Beckens selbst geht der gerade Durchmesser von der Verschmelzungsstelle des zweiten und dritten Kreuzbeinwirbels zur Mitte der Schambeinvereinigung, der quere Durchmesser verbindet die Mittelpunkte beider Pfannen.

Die Lage des geraden Durchmessers des oberen Beckeneinganges, die Conjugata, wird dazu benutzt, die Stellung des ganzen Beckens im Skelet, d. h. die Neigung des Beckens, zu bestimmen. Für die Beckenneigung gibt der Winkel, welchen die Conjugata zur horizontalen Standebene des Körpers bildet, einen mathematischen Ausdruck. Der Winkel der Conjugata mit

der horizontalen Standebene beträgt bei Europäern etwa 65° und wechselt bei verschiedenen Individuen relativ nur wenig; bei Männern ist der Neigungswinkel meist um einige Grade spitziger als bei Frauen. Bei dieser Normalstellung des Beckens steht die Spitze des Schwanzbeines um etwa 15—16 mm höher als der untere Rand der Schamfuge.

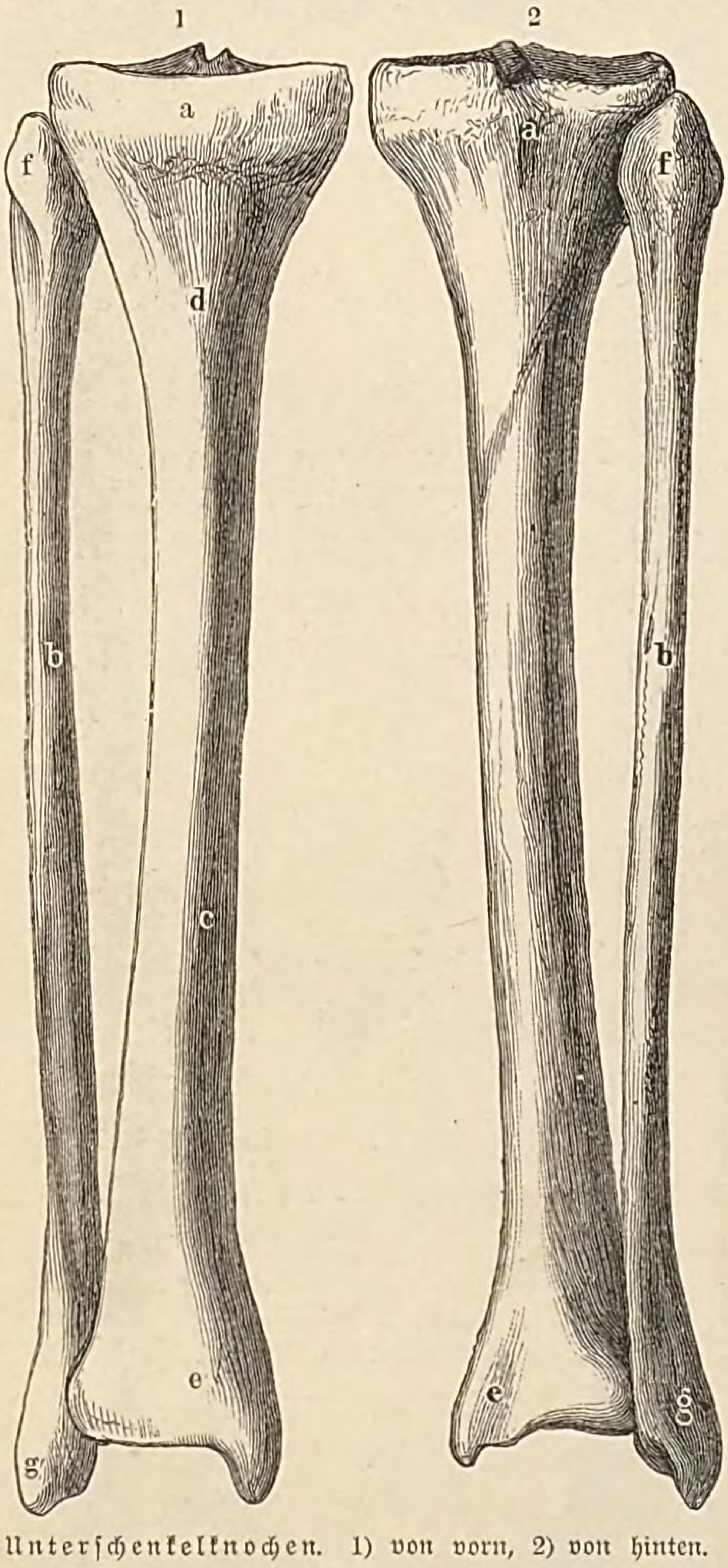
Das **Oberschenkelbein** (Femur; s. nebenstehende Abbildung) ist der längste und stärkste Röhrenknochen des menschlichen Knochengerüstes. An dem oberen Endstück, das mit dem Mittelstück einen Winkel bildet, geht der Knochen in den schön gerundeten Gelenkkopf aus, der etwa zwei Drittel einer Kugel darstellt. Etwas unterhalb des Mittelpunktes seiner Kugelfläche zeigt sich eine Vertiefung (Fovea), die Gelenkkopfgrube, an welche sich das eine Ende des **runden Gelenkbandes** (Ligamentum teres) anheftet, dessen anderes Ende an die S. 423 erwähnte rauhe Stelle in der Mitte der Gelenkpfannengrube befestigt ist. Durch einen schmäleren, winkelig vom Mittelstück abgebogenen Hals, den **Schenkelhals** (Collum), geht der Gelenkkopf in das nach vorwärts etwas konvex gekrümmte, lange Mittelstück des Knochens über. An der winkelig geknickten Übergangsstelle vom Halse zum Mittelstück treten zwei starke Höcker hervor, der äußere größere und der innere kleinere Rollhügel (Trochanter major und T. minor). Der äußere Rollhügel bildet den Endpunkt der verlängerten Achse des Mittelstückes. Etwas tiefer als der äußere, mit ihm durch eine vorspringende Knochenleiste verbunden, liegt der innere Rollhügel als ein kleiner, nach hinten gerichteter Kegel. Das untere Ende des Oberschenkelbeines ist dick und breit und geht in zwei nach rückwärts stark hervorragende, rundliche Gelenkhöcker, die beiden Condyli femoris, aus, die vorn durch eine sattelförmige Vertiefung, in welcher die **Kniescheibe** (Patella) liegt, hinten durch eine tiefe, nicht überknorpelte Grube getrennt werden. An der äußeren Seite jedes Gelenkhöckers, rechts und links an dem unteren Außenrande des Knochens, wölben sich flache, rauhe Knochenhügel hervor, die Oberschenkelknorren, die beiden Epicondyli femoris, für die Befestigung der Seitenbänder des Kniegelenks.



Der rechte Oberschenkelknochen. 1) von vorn, 2) von hinten. a) Kopf, b) Fovea, c) Hals, d) großer, e) kleiner Rollhügel, f) Rauhigkeit für den Sitzmuskel (dritter Rollhügel, g) äußerer, h) innerer Gelenkhöcker, i) Gelenkknorren.

Das Oberschenkelbein verbindet sich durch seinen Kopf mit dem Becken, durch sein unteres Endstück mit der Kniescheibe und dem Schienbein. Schienbein (Tibia) und Wadenbein (Fibula) bilden die beiden Röhrenknochen des Unterschenkels, denen sich die Kniescheibe als ein kurzer, dicker Knochen anreiht.

Der bedeutendste Knochen des Unterschenkels und dessen Hauptstütze ist das Schienbein (s. die Abbildung). Sein Mittelstück stellt normal eine scharf geschnittene dreiseitige Säule dar, deren besonders schneidende, leicht S-förmig gebogene vordere Kante als Schienbeinkamm (Crista tibiae) durch die Haut gefühlt wird. Die äußere Fläche ist in geringem Grade der Länge nach konkav, die innere dagegen etwas konvex. An seinem oberen Ende ist der Knochen am dicksten, zu beiden Seiten, rechts und links, springen die beiden Schienbeinknochen vor; die obere Fläche zeigt zwei wenig vertiefte, durch eine mittlere Erhabenheit voneinander getrennte Gelenkflächen zur Aufnahme des doppelt gewölbten Gelenkendes des Oberschenkelbeines. Unter dem oberen Gelenkende des Schienbeines beginnt auf dessen vorderer Fläche der Schienbeinkamm mit einem hervorspringenden Höcker, dem Schienbeinhöcker (Tuberositas tibiae), der als Muskelansatzstelle von Bedeutung ist (s. S. 427). An der Seitenfläche des äußeren Schienbeinknorrens liegt die kleine Gelenkfläche für das Wadenbein. Das untere Schienbeinendstück ist weniger mächtig entwickelt als das obere. Es besitzt eine viereckige, von vorn nach hinten konkav ausgehöhlte Gelenkfläche, welche an der Innenseite in einen fast senkrecht herabsteigenden breiten, kurzen und starken Knochenfortsatz, den inneren Fußgelenkknöchel (Malleolus internus oder M. medialis), ausgeht. Ihm gegenüber liegt an der Außenseite des Endstückes des Schienbeines ein zur Aufnahme des Wadenbeinendes dienender Ausschnitt.



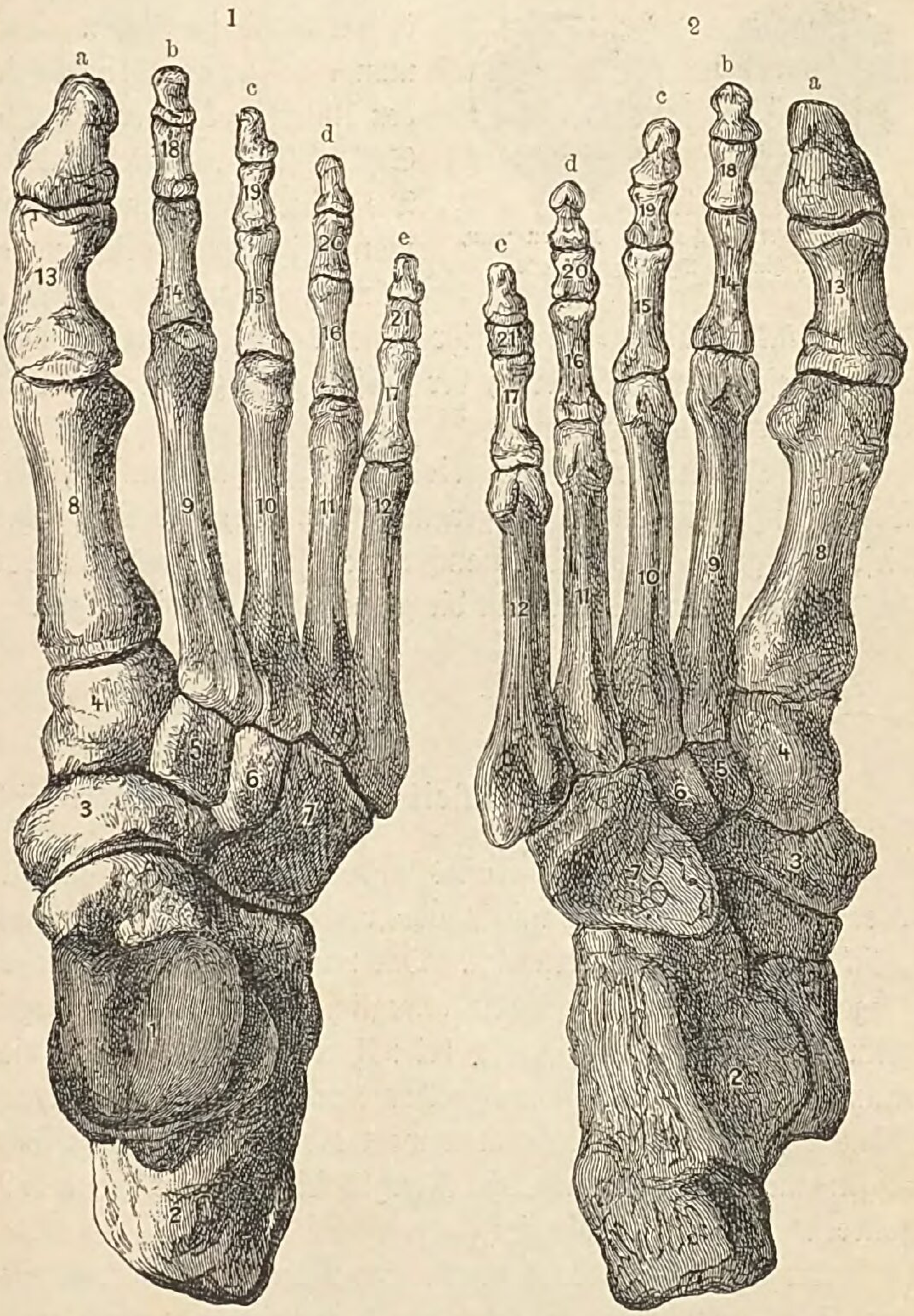
Unterschenkelknochen. 1) von vorn, 2) von hinten. a) Schienbein, b) Wadenbein, c) Schienbeinkamm, d) Rauhigkeit des Schienbeines, e) innerer Knöchel, f) Wadenbeinköpfchen, g) äußerer Knöchel.

Das Wadenbein (s. nebenstehende Abbildung) ist viel schlanker, aber nicht weniger lang als das Schienbein. Sein oberes Endstück, das Köpfchen, legt sich in die kleine Gelenkfläche am äußeren Schienbeinknorren; sein Mittelstück bildet einen unregelmäßig vierkantigen Schaft; sein unteres Ende formt den an der queren Gelenkfläche des Schienbeines senkrecht herablaufenden äußeren Fußgelenkknöchel (Malleolus externus oder M. lateralis), welcher etwas tiefer herabreicht als der innere, vom Schienbein gebildete Knöchel. Beide Fußgelenkknöchel bilden mit der queren unteren Schienbeingelenkfläche den tief einspringenden Gelenkausschnitt, in welchem sich der erste Fußwurzelknochen, das Sprungbein, und mit diesem der ganze Fuß bewegt.

Die Kniescheibe (s. Abbildung, S. 428), ein kurzer, ziemlich dicker, herzförmig gestalteter Knochen, der seine Spitze nach abwärts wendet, liegt auf der Vorderseite des Kniegelenkes und

zwar in der mächtigen Sehne eingeschlossen, mit welchem sich die an der Vorderfläche des Oberschenkels liegenden Streckmuskeln des Unterschenkels an den Schienbeinhöcker befestigen. Die Vorderfläche der Kniescheibe ist ziemlich rauh, ihre Hinterfläche glatt.

Der **Fuß** (s. untenstehende Abbildung) besteht nur aus 7 kurzen und dicken Fußwurzelknochen, während man an der Hand 8 Handwurzelknochen zählt; sonst sind aber die Zahlen der Fußknochen und ihre allgemeinsten Bauverhältnisse denen an der Hand entsprechend: 5 Mittelfußknochen und 14 Zehenglieder mit einigen Sehnenknöchelchen.

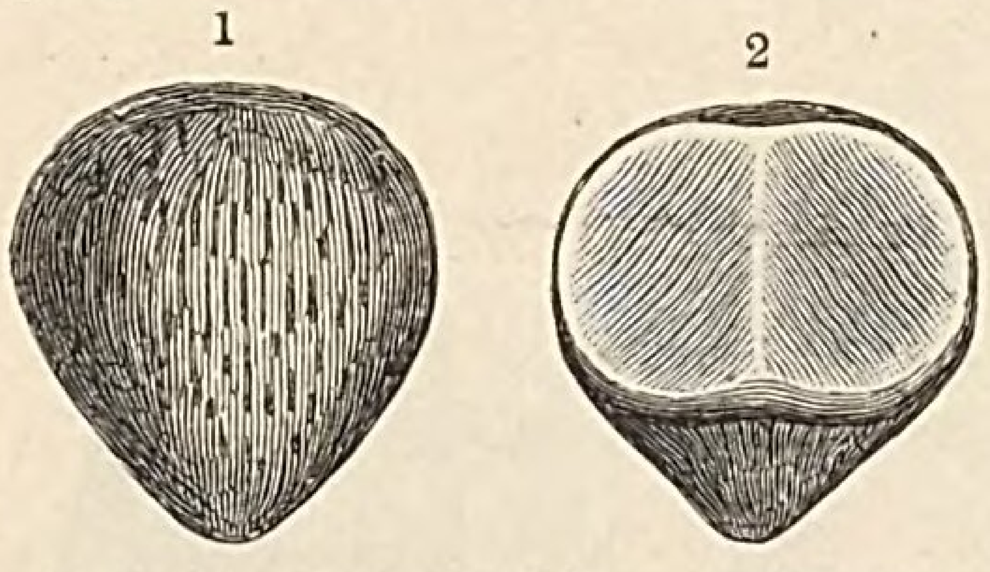


Der rechte Fuß des Menschen (nach Hartmann). 1) Von oben, 2) von unten. 1) Sprungbein, 2) Fersenbein, 3) Kahnbein, 4, 5, 6) erstes, zweites, drittes Keilbein, 7) würfelförmiges Bein, 8—12) Mittelfußknochen, 13—17) erste, 18—21 zweite, b, c, d, e) dritte Reihe der Phalangen, a) zweite Phalange der großen Zehe.

Die sieben **Fußwurzelknochen** liegen teils über, teils der Länge und Quere nach nebeneinander. Sie werden als Sprungbein, Fersenbein, Kahnbein, die drei Keilbeine und das Würfelbein (Astragalus, Calcaneus, Os naviculare, Os cuneiforme primum, secundum und tertium, Os cuboideum) benannt.

Von den Fußwurzelknochen verbindet sich durch ein Gelenk nur das erste, das **Sprungbein**, mit dem Unterschenkel. Das Sprungbein wurde von den Alten als Würfelbein (Astragalus oder Würfel) bezeichnet, da man die Würfelbeine von größeren Schlachttieren als „Knöchel" zum Würfelspiel benutzte. Man unterscheidet am Sprungbein einen Körper, Hals und Kopf; der Körper ist ein viereckiges Knochenstück, welches in die entsprechend ausgeschnittene Gelenkvertiefung am Unterschenkelende zwischen den beiden Fußgelenkknöcheln, welche von Schienbein und Wadenbein gebildet werden, hineinpaßt. Das **Fersenbein** ist der größte Fußwurzelknochen; es liegt unter dem Sprungbein, erstreckt sich nach vorn ebensoweit wie dieses, ragt aber nach hinten als Fersenhöcker beträchtlich hervor. Das Kahnbein liegt zwischen dem Kopfe des Sprungbeines und den drei Keilbeinen am inneren Fußrande. Die drei Keilbeine der Fußwurzel haben ihre Lage vor dem Kahnbein und werden vom inneren Fußrande nach außen gezählt. Das Würfelbein liegt am äußeren Fußrande vor dem Fersenbein.

Die fünf Mittelfußknochen, Metatarsusknochen, welche in einer von außen nach innen konvexen Ebene liegen, bilden durch ihre Vereinigung mit der Fußwurzel nur am menschlichen Fuße ein von vorn nach hinten und von außen nach innen konvexes Bogengewölbe, welches, wenn der Fuß auf den Boden aufgestellt wird, nur mit seinem vorderen und hinteren Ende, mit der Ferse und den Vorderenden oder Köpfchen der Mittelfußknochen, den Boden berührt. Der innere Rand dieses Gewölbes steht höher und ist stärker konvex, der äußere Rand ist flacher. Diese Bildung des Fußes, welche man als Fußgewölbe bezeichnet, auf dessen Kuppel durch den Unterschenkel der ganze Körper sich stützt, ist neben dem Schädel für das Skelet des Menschen besonders charakteristisch. Die Mittelfußknochen sind kurze Röhrenknochen, an welchen man in ihrer Längsrichtung eine geringe konvexe Aufwärtskrümmung bemerkt. Ihr Mittelstück erscheint dreiseitig, ihr Vorderstück ist kugelig-konvex, ihr hinteres Endstück dick und durch eine ebene Gelenkfläche senkrecht abgeschnitten. Der erste, der großen Zehe zugehörende Mittelfußknochen ist etwas kürzer, aber stärker als die übrigen.



Die rechte Kniescheibe. 1) Von vorn, 2) von hinten. Vgl. Text, S. 426.

Die Knochen der Zehenglieder (Zehenphalangen) schließen sich durch Zahl, Form und Verbindungsweise an die Fingerglieder an, doch sind sie ansehnlich kürzer und rundlicher als diese. Die große Zehe ist bei manchen wohlgebildeten Füßen etwas kürzer als die zweite Zehe, in der Mehrzahl der Fälle aber ist die große Zehe auch die längste.

Die Beweglichkeit der Skeletknochen und die Gelenke.

Ein Teil des Knochengerüstes unseres Körpers und namentlich der Rumpf wird durch mehr oder weniger unbeweglich miteinander verbundene Knochen gebildet, so daß er uns auf den ersten Blick als fest, als starr erscheint. Das Rumpfskelet steht in dieser Beziehung gleichsam in einem Gegensatz gegen die beweglichen, beweglich an den Rumpf angegliederten Knochengerüste der Extremitäten. Und doch zeigt sich bei näherer Betrachtung auch die Verbindungsweise der meisten Rumpfknochen untereinander keineswegs vollkommen unfähig, gewisse Bewegungen zu gestatten. Manche Individuen, welche man wohl als Kautschuk- oder Schlangenmenschen bezeichnet hat, zeigen eine geradezu erstaunliche Beweglichkeit nicht nur einzelner Rumpfabschnitte gegeneinander, sondern auch des Rumpfes im ganzen.

Die Verbindung der Rumpfknochen unter sich besteht nur mit wenigen Ausnahmen, z. B. bei den „falschen" Wirbeln des Kreuzbeines, den einzelnen die Hüftbeine zusammensetzenden Knochen, in einer Verwachsung der Knochen durch Knochensubstanz. Die Rippen verbinden sich dagegen mit den Wirbeln der Brustwirbelsäule durch wahre, wenn auch in ihrer Beweglichkeit beschränkte, straffe Gelenke. Eine wunderbare Gelenkeinrichtung lernten wir zwischen Kopf und Halswirbelsäule und zwischen den beiden ersten Halswirbeln kennen; es bestehen auch Gelenkverbindungen zwischen den Wirbelbogen untereinander. Sehen wir von dem Kopfe ab, so findet die Vereinigung der übrigen Rumpfknochen, der Mehrzahl der Wirbelkörper untereinander und die jener Rippen mit dem Brustbein, welche überhaupt mit ihren vorderen Enden das Brustbein erreichen, durch Knorpelzwischenlagen statt. Die Knorpelsubstanz ist aber zusammendrückbar und in hohem Grade elastisch. Je bedeutender daher die Masse der Knorpelzwischenlage ist, desto beweglicher werden die in dieser Weise miteinander in Verbindung stehenden Knochen.

Die Wirbelkörper werden durch ziemlich dicke, scheibenförmige Zwischenwirbelknorpel untereinander, die vorderen Enden der Rippen durch vergleichsweise lange, den knöchernen Rippen zum Teil in der Gestalt sehr nahe entsprechende Knorpelstücke mit dem Brustbein verknüpft. Diese Art der Knochenverbindung durch Knorpelzwischenschichten macht zwar ein freies Gleiten der Knochenendflächen aneinander, wie ein solches die Gelenkbewegungen charakterisiert, unmöglich; die Dehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit der verbindenden elastischen Schicht gestattet aber eine vielseitige Drehung um verschiedene Achsen. Diese Drehungsmöglichkeit ist bei Knorpelscheiben im allgemeinen um so ausgiebiger, je dicker und weicher die verbindende Schicht ist. Bei den Rippenknorpeln sehen wir recht deutlich, wie die Gestaltsveränderung, welche das biegsame Knorpelschaltstück durch die Bewegung der Brustmuskeln erleidet, diese endlich selbst federnd hemmt. Um alle Achsen, welche mitten durch die die Knochen verbindende elastisch-weiche Masse gehen, sind solche Drehungen vorzugsweise leicht ausführbar. Indem der konvexe Unterrand der Rippen bei der Einatmung nach außen und oben gezogen wird, wird der Rippenknorpel gedreht, und nach dem Nachlassen der aktiven Atembewegung federn dann die Rippenknorpel und mit ihnen die Rippen durch die Wirkung ihrer Elastizität in die Ruhelage zurück. Indem ein Wirbel gegen den unteren nach vorn etwas übergebeugt wird, wird die Knorpelzwischenlage zwischen den beiden Wirbelkörpern vorn etwas zusammengedrückt, auf der Rückseite dagegen ausgedehnt. Die Zwischenschicht kann aber auch im ganzen zusammengedrückt oder gedreht, torquiert, oder im ganzen ausgedehnt werden. Dadurch wird eine Anzahl verschiedener Bewegungen ermöglicht, deren nicht geringe Ausgiebigkeit, namentlich in den freien und leichten Beuge- und Drehbewegungen des Halses, zu Tage tritt. Weniger Beweglichkeit zeigt die Brustwirbelsäule, zum Teil wegen des dachziegelartigen Übereinandergreifens der Dornfortsätze der Brustwirbel.

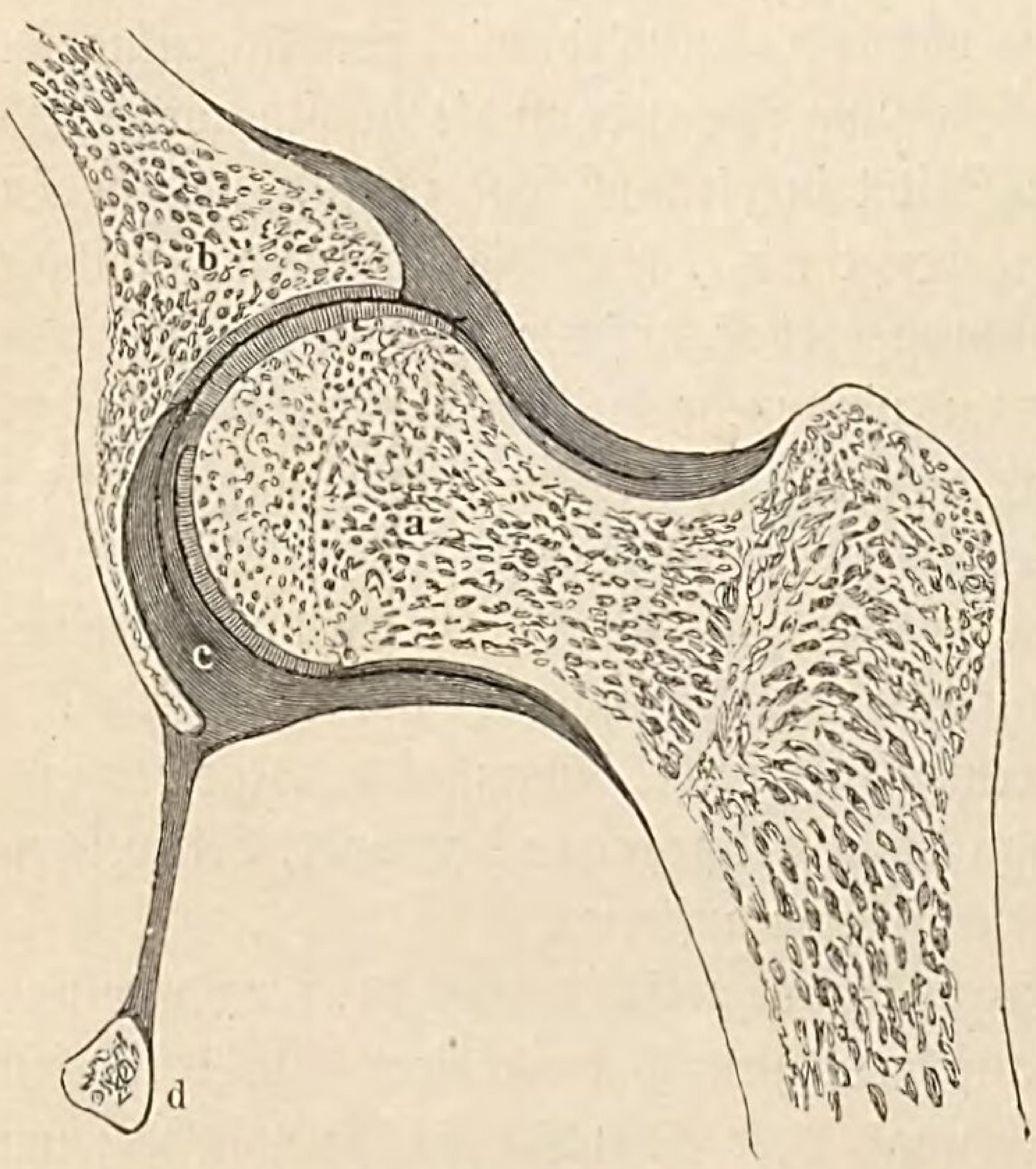
Wie schon erwähnt, finden sich zwischen den reinen Knorpelverbindungen der Knochen und den wahren Gelenken Übergangsformen, welche man als Halbgelenke bezeichnet, bei welchen mehr oder weniger entwickelte Andeutungen von Gelenkspalten auftreten.

Die Gelenkverbindungen der Bewegungsglieder unseres Körpers, der Arme und Beine, zeigen sich im allgemeinen als nach sehr einfachem Prinzip konstruiert. Zwei Knochen stoßen mit freien überknorpelten Endflächen, Berührungs- oder Gelenkflächen, aneinander; um die Berührungsflächen zieht sich eine geschlossene häutig-sehnige Kapsel, Gelenkkapsel, die mit dem einen freien Rande an dem einen, mit dem anderen an dem zweiten der beweglich miteinander verbundenen Knochen und zwar in geringer Entfernung von den Berührungsflächen derselben sich luftdicht anheftet. Denken wir uns über das Ellbogengelenk einen Schreibärmel gestülpt und seinen oberen Rand am Oberarm, seinen unteren Rand am Unterarm dicht am Gelenk mittels eines Zuges zusammengezogen und dadurch befestigt, so haben wir ein ungefähres Bild davon, wie die Gelenkkapsel das Gelenk umschließt. Indem die Gelenkkapsel die Gelenkenden beider im Gelenk zusammenstoßender Knochen vollkommen umkleidet, bildet sie um das Gelenk eine vollständig geschlossene Höhle, die Gelenkkapsel oder Gelenkhöhle. Die Wände dieser Höhlen sind glatt, ebenso die mit einem Knorpelüberzug versehenen Gelenkenden. Das Gleiten der Knochen aneinander und in der Gelenkhöhle erfolgt dadurch mit möglichst geringem Widerstande, welcher noch verringert wird durch die Gelenkflüssigkeit, die Gelenkschmiere (Synovia), eine schleimige, in geringer Quantität in der Gelenkhöhle enthaltene Flüssigkeit, durch welche die Berührungsflächen der Knochen glatt und schlüpfrig erhalten werden. Außer Schleim enthält die Gelenkschmiere bei einem Wassergehalt von etwa 95 Prozent noch geringe Mengen von Fett und Eiweißstoffe.

Die Wandungen der Gelenkkapseln, deren Verstärkung durch zum Teil in ihr selbst verlaufende Verstärkungsbänder wir oben schon besprochen haben, sind im Leben nicht schlaff,

sie werden namentlich durch die das Gelenk umlagernden Muskeln gespannt, so daß ein Hin- und Herschlottern der Gelenkenden in der Gelenkhöhle schon aus diesem Grunde ausgeschlossen ist. Übrigens ist der Ausdruck Höhle für den von der Gelenkkapsel umschlossenen Raum im strengen Wortsinne unrichtig, da die Kapsel vollkommen von ihrem genannten Inhalt ausgefüllt ist. In die bei den Bewegungen zwischen den Gelenkenden etwa entstehenden Lücken tritt sofort die Gelenkflüssigkeit ein.

An der normalen Beweglichkeit der Gelenke ist aber vor allem der Luftdruck beteiligt. Wir verdanken diese außerordentlich wichtige Entdeckung den berühmten Untersuchungen der Gebrüder Weber. Bei allen Gelenken schließt die Kapsel vollkommen luftdicht; da sonach keine Luft in die Gelenkhöhle gelangen kann, so werden schon allein durch den Luftdruck die Gelenkenden und die Gelenkkapsel fest aneinander gedrückt. Allen Bewegungen der Gelenkenden aneinander folgen die Gelenkkapsel und die Gelenkflüssigkeit, so daß niemals ein hohler, leerer Raum in der Gelenkhöhle entsteht (s. nebenstehende Abbildung). Durch die Wirkung des Luftdruckes werden die Knochen in den Gelenken mit einer gewissen Kraft zusammengedrückt. So wird z. B. der Gelenkkopf des Oberschenkels mit so großer Kraft durch den Luftdruck in der Pfanne zurückgehalten, daß er nicht aus derselben herausfällt, auch wenn an einer Leiche alle Weichteile des Oberschenkels, Haut, Muskeln, ja selbst die Gelenkkapsel des Oberschenkelgelenkes durchschnitten werden. Die Kraft des mittleren Luftdruckes im Pfannengelenk hält nicht nur der Last des ganzen Beines das Gleichgewicht, sondern überkompensiert das Gewicht des Beines noch etwa um ein Drittel. Sowie aber der Luft zwischen Oberschenkelkopf und Pfanneninnenfläche, z. B. bei der Leiche durch Anbohren der Pfanne vom Becken aus, ein auch nur minimaler Zutritt gestattet wird, so fällt der Oberschenkel sofort aus der Pfanne heraus. Aber auch für alle anderen wichtigeren Gelenke ist es konstatiert, daß der Luftdruck an und für sich nach Durchschneidung sämtlicher das Gelenk umgebender Weichteile einschließlich der Gelenkkapsel ausreiche, um die Gelenkflächen in Berührung und damit die dazu gehörigen Skeletteile in Zusammenhang zu erhalten. Um den Kontakt auch bei ausgiebigeren Bewegungen aufrecht zu erhalten, bei welchen die Gelenkflächen aneinander hingleiten und -schleifen, muß die eine der Gelenkflächen sehr genau der Abdruck der anderen sein; geringe, bei dem Aneinanderschleifen der Knochen sich ergebende Zwischenräume werden durch die Gelenkflüssigkeit ausgeglichen.



Frontalschnitt durch das Hüftgelenk (nach Gegenbauer). a) Gelenkkopf, b) Gelenkpfanne, c) rundes Band, d) Schambein.

An keiner Stelle der menschlichen Baueinrichtungen ist seit den ältesten Zeiten der Forschung die Exaktheit so lebhaft zum Bewußtsein gekommen, mit welcher die Natur zu arbeiten pflegt, als gerade bei den merkwürdigen Gelenkeinrichtungen. Und doch sehen wir überall eine unverkennbare Freiheit in der Ausnutzung der gegebenen Möglichkeiten. Übrigens ist es doch eine Täuschung, wenn man meinen will, daß sich die Natur nicht mit Strenge an eine geometrische Ausführung ihrer Probleme gerade in den Gelenken binde. Die Gelenkverhältnisse des Menschenkörpers sind nur außerordentlich viel komplizierter als die irgend eines Gelenkes unserer Mechanik. Daher

reicht die Mechanik des Menschenkörpers bei ihrer Gelenkbildung nicht aus mit den einfachen Konstruktionselementen, wie Cylinder und Cylinderausschnitt, Kugel und Kugelschale u. a., welche wir von den Gelenken der technischen Mechanik her kennen. Eine reine und ganz ausschließliche Scharnierbewegung kommt beim Menschen streng genommen niemals, am nächsten noch im Fußgelenk vor, ebensowenig die Bewegung einer mathematisch genauen Kugel in einer Pfanne. Was bei oberflächlicher Betrachtung an einen Cylinder und Cylinderausschnitt mahnt, erscheint bei näherer Untersuchung als eine Verbindung verschiedener Konstruktionselemente, unter denen z. B. neben dem Cylinder und Cylinderausschnitt noch die Schraube und Schraubenmutter auftreten. An Stelle der Gelenkkugel und kugelig ausgeschnittenen Gelenkpfanne der Nußgelenke der Technik treten bei den sogenannten Kugel- und Nußgelenken der menschlichen Anatomie meist Teile kongruenter, aber sehr verwickelt gebauter Rotationsellipsoide.

Immerhin dürfen wir in der Anatomie von Scharnier- und Kugelgelenken sprechen, wenn wir uns daran erinnern, daß diese Bezeichnungen nichts weiter geben wollen als oberflächliche Orientierungen über in Wahrheit viel verwickeltere Gelenkeinrichtungen. Nach den neuesten und besten Untersuchungen ist die Kongruenz der Gelenkflächen trotz ihres verwickelten Baues eine vollständige, und die laut gewordenen gegenteiligen Behauptungen waren nur Ausfluß einer ungenügenden mathematisch-physikalischen Analyse der Bewegungsbedingungen der Gelenkeinrichtungen. Der Natur gelingt die Herstellung der kongruenten Gelenkflächen leicht dadurch, daß diese sich nach den betreffenden Baugesetzen durch gegenseitigen Druck und Gegendruck (eine als der Abdruck der anderen) formen.

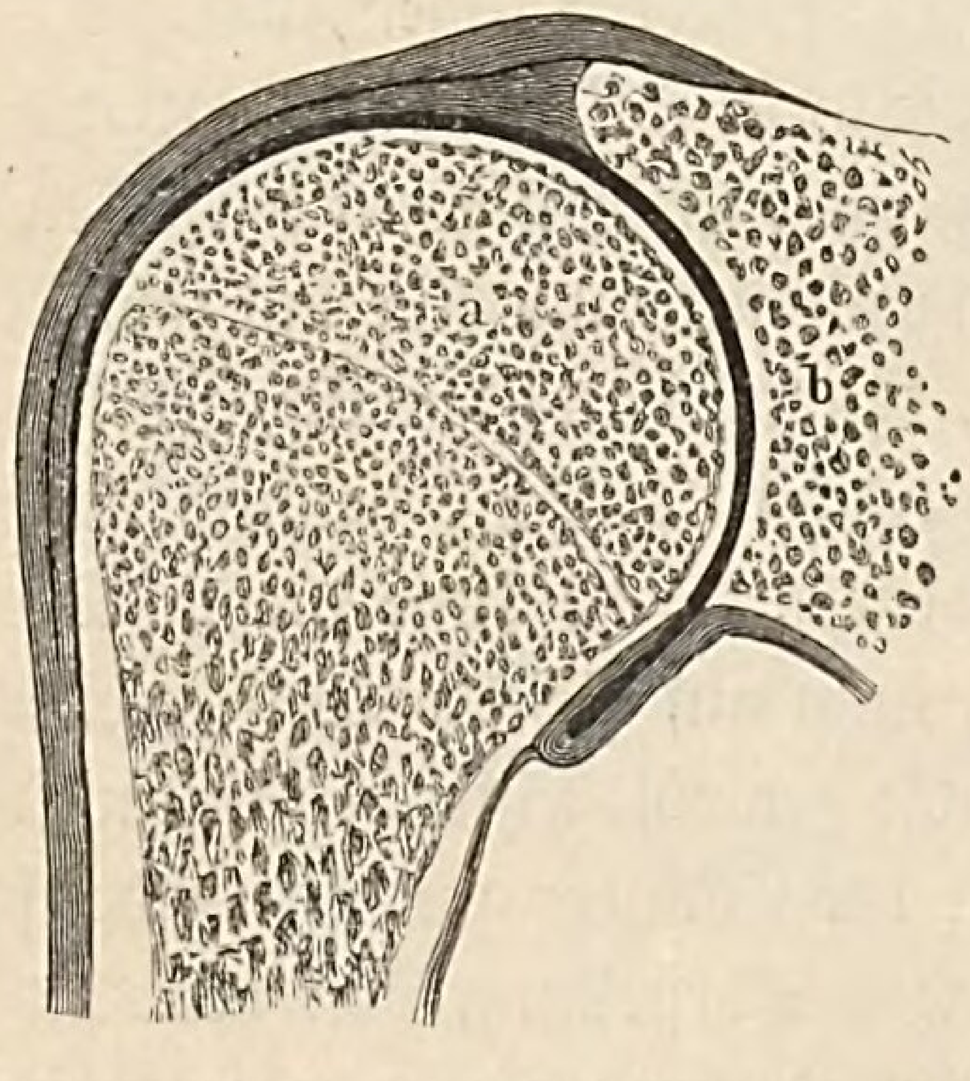
Als allgemeines Gesetz für die Gelenkformung können wir aussprechen, daß alle im menschlichen Körper sich findenden Gelenke, welche eine größere Beweglichkeit zeigen, durch das Zusammentreffen sogenannter Rotationsflächen oder vielmehr Stücke von Rotationsflächen gebildet werden. Derartige Rotationsflächen, wie sie auch die Gelenkflächen darstellen, kann man sich entstanden denken durch Umdrehung einer beliebigen Kurve um eine mit ihr fest verbundene gerade Linie als Achse. So entsteht z. B. der Cylinder, den wir unter den angegebenen Einschränkungen als einfachstes Schema der Scharniergelenke betrachten dürfen, dadurch, daß sich eine gerade Linie um eine mit ihr parallel in derselben Ebene gelegene Linie dreht. Die Abgußfläche des Cylinders, in die er im Gelenk hineingesenkt ist, kann auf dieselbe Weise gleichzeitig entstanden gedacht werden, wenn wir uns vorstellen, daß die gedrehte Linie den Cylinder aus einer weichen Masse herausschneidet, wobei zu gleicher Zeit der Cylinder und sein Abguß hervorgebracht werden. In ganz ähnlicher Weise können wir eine Vorstellung von der Entstehung einer Schraube und ihrer Schraubenmutter erhalten. Aus diesen Bildern wird durch unmittelbare Anschauung klar, wie zusammenstoßende, kongruente Rotationsflächen, z. B. in den Gelenken, von Bewegungen gegeneinander ohne Entfernung der aneinander schleifenden Flächen nur solche gestatten, bei welchen die Drehung um die Achse der Rotationsfläche erfolgt. Je nach der Form der zusammenstoßenden Gelenkflächen ist daher die Beweglichkeit der Gelenke eine in bestimmter Weise beschränkte. Am freiesten ist im allgemeinen die Beweglichkeit, wenn die zusammenstoßenden Gelenkflächen Abschnitte kongruenter Kugelflächen sind. Die Kugel samt ihrer kongruenten Kugelschale können wir uns entstanden denken, indem ein Halbkreis um seine feststehende Achse sich drehend durch eine weiche, plastische Masse bewegt. Die Kugel bleibt mit ihrer Kugelschale, der kugelige Gelenkkopf mit der kugeligen Gelenkpfanne in allseitiger Berührung bei der Drehung um jede beliebige Achse, welche wir uns durch den Mittelpunkt der Kugel gelegt denken können. Während bei dem Aneinanderhinschleifen des Cylinders in seinem Cylinderausschnitt die ganze ideale Mittellinie des Cylinders, d. h. die gemeinschaftliche Achse des Cylinders und seines Cylinderausschnittes, ruhend bleibt, bleibt bei den Bewegungen der Kugel in

ihrer Pfanne nur der ideale Mittelpunkt der Kugel und Kugelschale unbeweglich, oder mit anderen Worten, die Gelenke mit Kugelflächen können alle Bewegungen ausführen, bei denen der gemeinsame Mittelpunkt der Gelenkflächen unbewegt bleibt.

Wie gesagt, sind meist die kugelig erscheinenden Gelenkflächen im Menschenkörper nicht wirklich Abschnitte kongruenter Kugelflächen, sondern Teile kongruenter Rotationsellipsoide, welche von Kugelflächen nur relativ wenig abweichen. Eine vollkommene Flächenberührung zwischen Gelenkkopf und Pfanne kann daher nur bei dem Zusammenfallen der Rotationsachsen beider stattfinden, andernfalls entstehen bei den Bewegungen an einzelnen Stellen Räume zwischen Kopf und Pfanne, welche, wie oben erwähnt, namentlich durch die Gelenkflüssigkeit ausgefüllt werden. Bei den folgenden Beschreibungen der Extremitätenbewegungen sehen wir, was für den Menschen vollkommen zulässig ist, zur Erleichterung einer schematischen Übersicht von den Abweichungen der kugeligen Gelenkenden von der Kugelgestalt ab.

Die Hauptbewegung des Arm- und Beinskelets.

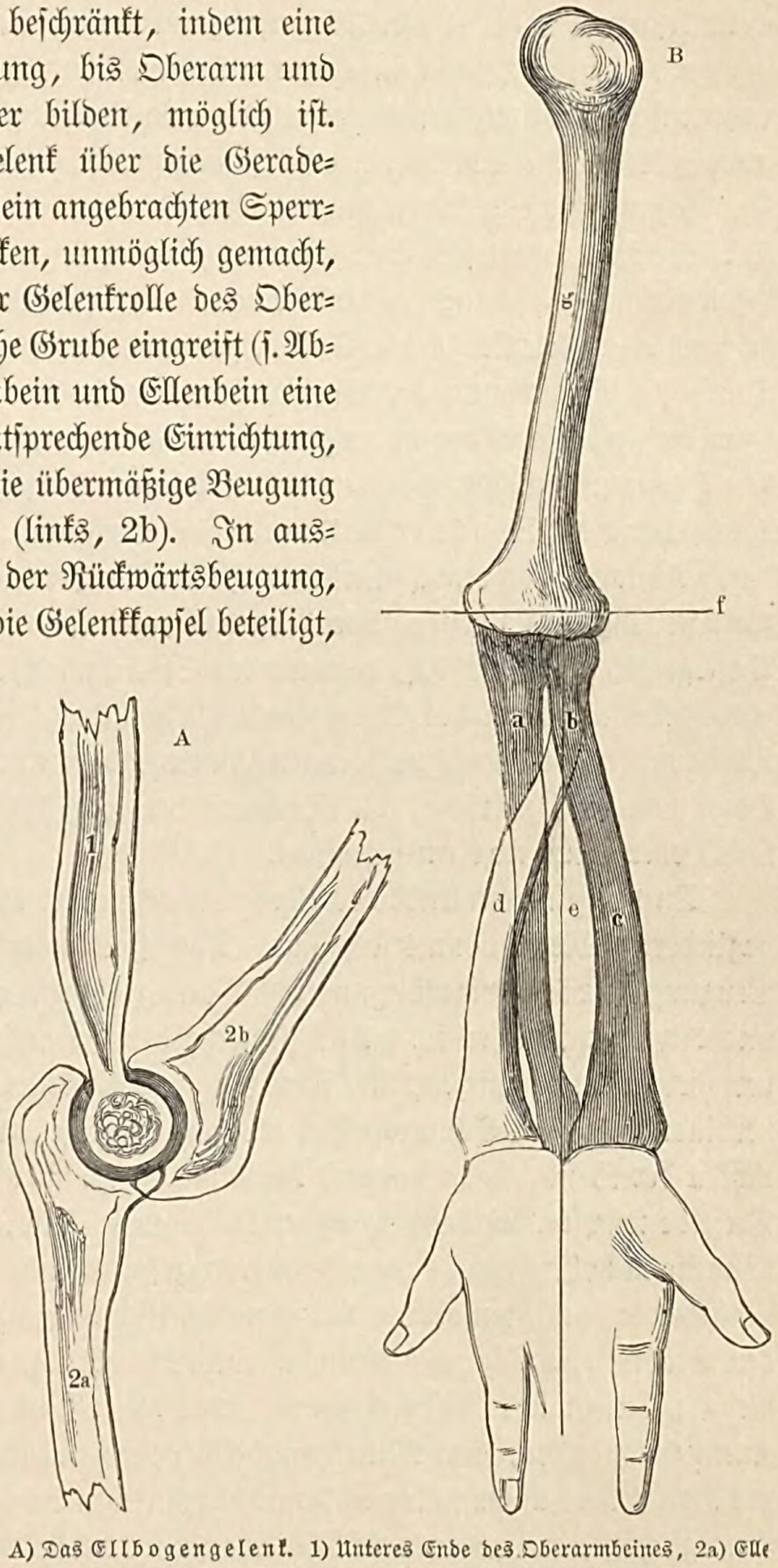
Trotz der unverkennbaren Analogie, welche im Bau der oberen und der unteren Extremitäten des Menschen sofort ins Auge fällt, finden wir doch zwischen beiden bestimmt ausgesprochene, funktionell sehr wesentliche Unterschiede, welche der verschiedenartigen Sphäre der Leistungsfähigkeit der Arme und Beine entsprechen. Während die Beine vorzugsweise als feste Tragsäulen des Rumpfes oder zur Ortsbewegung des Gesamtkörpers dienen, benutzen wir die Arme zum Ergreifen, Festhalten, Abwehren äußerer Objekte. Dem entsprechend ist das Beinskelet des Menschen in seiner Struktur fester, massiger, in seiner Bewegungsmöglichkeit mehr begrenzt als das Skelet des Armes, das eine geringere Festigkeit, dagegen eine größere Beweglichkeit für die weit mannigfaltigeren Bewegungen und Verrichtungen des Armes und der Hand verlangt. Betrachten wir nach den besten Autoritäten die Bewegungen der Glieder etwas näher.



Durchschnitt des Schultergelenks (nach Gegenbauer). a) Gelenkkopf, b) Gelenkpfanne.

Das knöcherne Armgerüst erscheint uns als ein vielfach gegliederter Stab, welcher mit dem Knochengürtel, der ihn, selbst beweglich, mit dem Rumpfe verbindet, durch das freieste Gelenk des ganzen Körpers, das Schultergelenk (s. nebenstehende Abbild.), zusammenhängt. Das Schultergelenk gehört nicht nur zu den Kugelgelenken, deren hohe Beweglichkeit wir hervorgehoben haben; das Schultergelenk wird noch dadurch in seiner Bewegungsmöglichkeit ganz besonders gesteigert, daß zwar der Gelenkkopf des Oberarmbeines den größten Teil einer Kugelfläche vorstellt, die Pfanne am Schulterblatt dagegen nur ein sehr kleines Stück der entsprechenden Hohlkugel. Bei den Nußgelenken der Mechanik umgreift die Pfanne den größten Teil des kugeligen Gelenkkopfes und hemmt dadurch dessen Beweglichkeit allseitig, während bei dem Schultergelenk eine solche Hemmung nur in sehr geringem Grade durch die relativ kleine und wenig umgreifende Pfanne bedingt wird. Das Festhalten des Oberarmkopfes in seiner Pfanne besorgt, wie wir hörten, neben der durch die umliegenden Muskeln gegen das Gelenk allseitig angedrückten elastischen Gelenkkapsel vorzugsweise der Luftdruck. Der Arm kann nicht nur senkrecht zur Achse des Gesamtkörpers gestreckt, sondern auch noch weiter zurückgebeugt und dabei nach allen Richtungen um den Mittelpunkt des Gelenkes gebeugt und rotiert werden.

Die beiden Hauptabschnitte des Armgerüstes, Oberarm und Vorderarm, sind in der Ellbogenbeuge durch ein Scharniergelenk miteinander verbunden, welches eine Beugung nach vorwärts bis fast zu voller gegenseitiger Berührung der entsprechenden Längsflächen von Ober- und Unterarm gestattet (s. die Abbildung, links). Dagegen ist die Beugung nach rückwärts sehr wesentlich beschränkt, indem eine solche nur bis zur vollkommenen Streckung, bis Oberarm und Unterarm eine gerade Linie miteinander bilden, möglich ist. Die Rückwärtsbewegung im Ellbogengelenk über die Geradestreckung hinaus ist durch jenen am Ellenbein angebrachten Sperrhaken, das Olekranon, dem Ellbogenhaken, unmöglich gemacht, welcher in dem Augenblick in die über der Gelenkrolle des Oberarmbeines auf dessen Rückenfläche befindliche Grube eingreift (s. Abbildung links, 2a), in welchem Oberarmbein und Ellenbein eine gerade Linie miteinander bilden. Eine entsprechende Einrichtung, ebenfalls mit Haken und Grube, hemmt die übermäßige Beugung des Ellenbeines gegen das Oberarmbein (links, 2b). In ausgestreckter Lage wird durch die Hemmung der Rückwärtsbeugung, an welcher sich neben dem Olekranon auch die Gelenkkapsel beteiligt, der Arm in ausgestreckter Haltung zu einem festen, steifen Stabe, an dessen vorderem Ende z. B. eine Last zu ziehen vermag, ohne ihn zu biegen, der eine Last heben, stoßen und schieben kann. Der Arm wird gestreckt zu einem einfachen starren Hebel, während er im Ellbogen, in beinahe beliebigem Winkel zum Haken gebeugt mit dem ebenfalls gebeugten Arme der entgegengesetzten Seite, jene „zusammenklappende Falle“ der Arme bildet, welche einen größeren Gegenstand in der wirksamsten Weise ringförmig zu umklammern vermag.



A) Das Ellbogengelenk. 1) Unteres Ende des Oberarmbeines, 2a) Elle im Maximum der Streckstellung, 2b) Elle im Maximum der Beugestellung B) Bewegung des Ellbogengelenks. a) Elle, b) Speiche, bc) Speiche in der Supinations-, bd) in der Pronationsstellung, e) Achse der Radbrehung der Speiche, f) Achse der Vorderarmbeugung, g) Oberarmbein.

Indem das Unterarmgerüst aus zwei nebeneinander liegenden, um eine Längsachse des Unterarmes gegeneinander drehbaren Knochen, dem Ellenbein und Speichenbein, zusammengesetzt ist, kommt dem Ellbogengelenk noch eine weitere Bewegungsmöglichkeit zu. Der Unterarm kann eine teilweise Drehung um seine Längsachse ausführen, welche freilich weniger mit den Funktionen des Armes als mit denen der am Ende des Unterarmes ansitzenden Hand zu thun hat. Während sich die Elle gegen den Oberarmknochen beugt und streckt, macht auch die Speiche diese Bewegungen mit; das Gelenkköpfchen an dem unteren Gelenkende des Oberarmknochens, um welches sich mittels seiner napfförmigen Gelenkgrube des Kopfes die Speiche drehen kann, läßt so

gut wie die Gelenkrolle des Oberarmbeines mit dem Gelenkausschnitt des Ellenoemes Beuge- und Streckbewegungen ausführen. Zu letzteren kommen aber für die Speiche noch Radbrehungsbewegungen um eine in der Verlängerung der Längsrichtung des Oberarmbeines senkrecht durch den Mittelpunkt des Gelenkköpfchens desselben gelegte Achse. Diese Radbrehung der Speiche, welch letztere von der Art der Bewegungen ihren Namen herleitet, wird dadurch ermöglicht, daß sich der Kopf der Speiche in einem Gelenkausschnitt der Elle frei drehend bewegen kann. Bei rechtwinkelig gebeugtem Arme treten diese Radbrehungen des Speichenbeines rein in die Erscheinung. Würde die Speiche ein vollkommen geradliniger Knochen sein, so würde sie sich durch die Radbrehung wie eine Walze nur um ihre Längsachse drehen, ohne eine Ortsbewegung zu erleiden. Die Speiche krümmt sich aber schon nahe unter ihrem Kopfe nach vorn, bei den Radbrehungen beschreibt daher ihr unteres Ende einen Kreisbogen um die Elle, wodurch die Stellung der mit dem unteren Gelenkende der Speiche verbundenen Hand in der gleichen Weise verändert wird. Durch die Radbrehung der Speiche kann die Hohlhand bei rechtwinkelig gebeugtem Unterarm entweder gerade nach vorn oder gerade nach hinten gewendet werden (s. Abbildung, S. 433, rechts). Die Hemmung an den Grenzen des Spielraumes dieser Drehbewegungen der Hand infolge der Radbrehung der Speiche erfolgt, wie bei der Beugung und Streckung im Ellbogengelenk, lediglich durch Anstoßen von Knochenstellen. Ist der Vorderarm gegen den Oberarm gestreckt, so kommt zur Drehung im Ellbogen-Speichengelenk noch eine Drehungsmöglichkeit im gleichen Sinne im Achselgelenk hinzu, so daß dadurch der Spielraum für die Drehung der Hand noch vergrößert wird. Die Drehung des Unterarmes allein beträgt schon fast genau zwei rechte Winkel. Die Drehung der Hohlhand nach innen (hinten), dem übrigen Körper zu, wird als Anziehung der Hand oder Pronation, die Drehung der Hohlhand nach außen (vorn) als Abziehung der Hand oder Supination bezeichnet.

An dem unteren Ende des Vorderarmes ist das knöcherne Gerüst der Hand als ein vielfach gegliederter Mechanismus befestigt. Das Handgelenk gestattet für sich allein Streckung und Beugung oder Rückwärtsbiegung und Vorwärtsbiegung der Hand, außerdem aber auch Anziehung und Abziehung derselben. Auch innerhalb der Handwurzelknochen selbst sind geringe Gelenkverschiebungen möglich. Alle Bewegungsmöglichkeiten der einzelnen bisher genannten Gelenkverbindungen vom Schultergelenk bis zum Handgelenk summieren sich für die Bewegungsmöglichkeit der Hand, schon dadurch bekommt die Hand als Ganzes eine hohe Bewegungsfähigkeit. Dieselbe wächst noch dadurch in der wichtigsten Weise, daß auch die einzelnen Glieder der Hand teilweise in hohem Grade gegeneinander beweglich sind. Das Handskelet besteht aus fünf mehrfach gegliederten, an ihren oberen Enden nachbarlich verbundenen, an ihren unteren Enden frei spielenden Stäbchen, welche auf einem mosaikartig gebauten Knochenstück, der Handwurzel, in einer Reihe nebeneinander befestigt sind. Jedes dieser fünf gegliederten Stäbchen besteht zunächst aus einem Grundglied, dem Mittelhandknochen, von welchen vier ziemlich unbeweglich zur Bildung des Handtellers miteinander und mit den Knochen der Handwurzel verbunden sind. Ihre geringe Beweglichkeit, welche an dem Mittelhandknochen des kleinen Fingers am bemerkbarsten ist, gestattet nur eine rinnenförmige Krümmung der Hohlhand. Der Mittelhandknochen des Daumens, welcher sich im übrigen mit an der Bildung des Handtellers beteiligt, zeigt dagegen eine hohe Beweglichkeit. Die Wölbung der Hohlhand zu einer tieferen Rinne und die volle Gegenüberstellbarkeit des Daumens gegen die übrigen Finger der Hand beruhen auf der Beweglichkeit des Mittelhandknochens des Daumens. Das Gelenk zwischen Mittelhandknochen des Daumens und Handwurzel wird, wie mehrfach erwähnt, als ein Sattelgelenk bezeichnet. Die sattelförmigen Gelenkflächen erscheinen in zwei zu einander senkrechten Richtungen wie drehrund gebogen und zwar so, daß die Konvexität beider Krümmungen nach entgegengesetzten Seiten hinsieht, die Achsen

beider zu beiden Seiten der Fläche liegen. Gelenkenden, die sich in derartigen Sattelflächen berühren, können sich in zwei Richtungen durch Drehung um zwei sich senkrecht überkreuzende Achsen, von denen die eine im einen, die andere im anderen liegt, gleitend aufeinander verschieben oder drehen. Der Mittelhandknochen des Daumens vermag nicht nur gegen die Handwurzel gebeugt und gestreckt, sondern auch angezogen und abgezogen zu werden, er läßt sogar, freilich in sehr geringem Grade, eine Drehbewegung um seine Längsachse zu. Die relativ schlaffe Gelenkkapsel des Daumenhandwurzelgelenkes, das Fehlen einer plötzlichen absoluten Hemmung der Gelenkbewegungen nach jeder Seite nähern in Verbindung mit seiner vielseitigen Beweglichkeit das Daumengelenk trotz seiner verwickelten Form den „freien Gelenken".

An den unteren Enden der Mittelhandknochen sitzen die Knochen der Finger frei beweglich. In den Gelenken der Finger- und Mittelhandknochen ist außer tiefer Beugung und Streckung bis oder etwas über die Gerade hinaus auch noch seitliche An- und Abziehung möglich. Die Gelenke zwischen den einzelnen Fingergliedern gestatten dagegen nur Beugung und Streckung.

Durch diese tausendfach zu kombinierenden Bewegungsmöglichkeiten wird die Menschenhand, wie gesagt, zu dem Urwerkzeug aller Werkzeuge. Mittels der Finger kann sich z. B. die Hand zum hohlen Gefäß, zur Faust, zum Haken und mit Hilfe des gegenüberstellbaren Daumens zur Zange, zum Ringe gestalten; die An- und Abziehung der Finger gestattet das Zusammenfügen der gefalteten Hände, um mit verdoppelter Kraft einen zwischen beide Hände gefaßten Gegenstand zu drücken. Die ungleiche Länge der Finger macht die Hand geeigneter, Körper von kugeliger Form zu umgreifen, und schließt, wenn die Finger gegen die Hohlhand gebeugt und zusammengekrümmt sind, einen leeren Raum ein, der, wie z. B. beim Fliegenfangen, durch den Daumen als Deckel geschlossen werden kann.

Die physiologisch-mechanischen Aufgaben der unteren Extremitäten des Menschen sind einfacherer Art als die der oberen. Die Funktionen der Beine beschränken sich bei dem Menschen gewöhnlich fast ausschließlich auf die Unterstützung des Rumpfes beim Stehen und Sitzen und auf die Fortbewegung des Rumpfes bei den verschiedenen Arten der Gehbewegungen und auf seine Erhebung aus sitzender und liegender Stellung. Beim Klettern und Schwimmen kommen Arme und Beine in gleichzeitiger Thätigkeit in Betracht. Am wichtigsten sind die Funktionen des Stehens und Gehens, welche zuerst durch die physikalische Analyse der Gebrüder Weber sehr vollkommen auf ihre mechanischen Grundbedingungen zurückgeführt wurden. Vorzugsweise mit Rücksicht auf diese beiden Hauptfunktionen betrachten wir den Skeletbau der Beine, der eigentlichen oder ausschließlichen normalen Bewegungsglieder des Menschen, etwas näher.

Den von jenen der Arme sehr verschiedenen Aufgaben der Beine entsprechend, finden wir, wie gesagt, nicht nur die einzelnen das Knochengerüst der Beine bildenden Knochen massiver und stärker, auch ihre Gelenkverbindungen zeigen eine größere Festigkeit auf Kosten der Beweglichkeit.

Die Freiheit der Bewegung der Arme ist schon dadurch eine bedeutendere, daß sie durch ein System beweglich miteinander und mit dem Rumpfe verbundener Knochenstücke, Schulterblatt und Schlüsselbein, mit dem vergleichsweise starren Rumpfe verbunden sind. Dagegen sind die Beine an dem so gut wie unbeweglich unter sich und mit dem Rumpfe verbundenen Knochenring des Beckens durch ihr Hauptgelenk befestigt. Das Becken bildet als Ganzes gleichsam die starre Basis des Rumpfes, mit welcher dieser auf seinen Tragsäulen, den Beinen, ruht.

Die Beine erscheinen wie die Arme als mehrfach gebrochene Stäbe, auch die Art der Gelenkverbindung zeigt zwischen Armen und Beinen unverkennbare Ähnlichkeiten.

Das Gelenk zwischen Oberschenkelknochen und Becken, das Hüftgelenk, ist wie das Schultergelenk ein Kugelgelenk. Auch hier ist die eigentliche knöcherne Hohlfläche des Gelenkes zwar ein weit geringeres Stück einer Kugelfläche als die Gelenkfläche des Oberschenkelkopfes, aber ein dem

knöchernen Pfannenrand aufgesetzter Knorpelring umgreift den Gelenkkopf in größerer Ausdehnung. Dadurch wird das Hüftgelenk zu einem eigentlichen Nußgelenk, dessen Bewegungen durch den umgreifenden Pfannenrand im Vergleich mit dem Schultergelenk allseitig ziemlich beschränkt erscheinen. Die Bewegungen im Hüftgelenk werden auch noch weiter durch die sehnige Gelenkkapsel und die in ihr verlaufenden Hilfsbänder beschränkt, ein solches auf der vorderen Wand der Gelenkkapsel verlaufendes Hilfsband, das feste Darmbein-Schenkelband, verhindert bei feststehenden Beinen durch seine Anspannung die Rückwärtsbiegung des Rumpfes. Von der mittleren Grube der Pfanne verläuft beim Menschen das starke, runde Band zu dem Grübchen in der Mitte des Oberschenkelkopfes.

Das Kniegelenk wird als ein Schraubengelenk bezeichnet. Es gestattet eine Beugung in bedeutender Ausdehnung, die Streckung jedoch nur bis zur geraden Richtung mit dem Oberschenkelbein. Die Hemmung erfolgt hier nicht, wie im Ellbogengelenk, durch einen knöchernen Sperrhaken, sondern ähnlich wie bei den Fingergelenken durch Gelenkbänder. Während der Beugung im Kniegelenk kann der Unterschenkel etwas nach auswärts und vorwärts gedreht werden. Bei höchster Streckung nimmt der Unterschenkel normal eine leichte Drehung nach außen an, die Beugebewegung des Unterschenkels beginnt dagegen mit einer Drehung nach innen.

Der Fuß bildet eine breite, feste Unterstützungsfläche, auf welcher der Gesamtkörper mittels seiner Beine ruht, und besitzt trotz seiner Festigkeit eine ziemliche Beweglichkeit, welche bei den Gehbewegungen eine wichtige Rolle spielt. Die beiden Gelenke zwischen Unterschenkel und Würfelbein und zwischen Würfelbein und Fuß erlauben dem Fuße Streckung und Beugung sowie seitliche Anziehung und Abziehung, ohne daß diese beiden Bewegungsmöglichkeiten störend auf die Festigkeit des ganzen Fußgerüstes einwirken. Das wird namentlich dadurch erreicht, daß diese mannigfachen Bewegungen nicht in einem Gelenk vollführt werden können, sondern auf die beiden eben genannten verteilt sind. Das Gelenk zwischen Unterschenkel und Würfelbein gestattet nur Beugung und Streckung, es ist ein ausgesprochenes Scharniergelenk, dessen Gelenkcylinder dem Würfelbein angehört. Das Würfelbein wird im Fußgelenk von den beiden gabelförmig herabragenden Fußknöcheln des Schienbeines und Wadenbeines umfaßt und fixiert, deren Wirkung noch durch straffe Seitenbänder unterstützt wird. Das Gelenk zwischen Würfelbein und Fuß wird vorwiegend durch das Zusammenstoßen des Kahnbeines mit dem nach vorn gerichteten Sprungbeinkopf gebildet. Hier erfolgen drehende Fußbewegungen. Der Fuß wird aus der gerade nach vorn gerichteten Stellung bei der Drehung um die Gelenkachse nach beiden Seiten etwas gehoben, bei Drehung nach der Mitte (nach innen) mit dem inneren Rande voran, bei Drehung nach der Seite mit dem äußeren Rande. Bei der Anziehung und Abziehung des Fußes finden also gleichzeitig Bewegungen in drei Gelenken statt, zwischen Würfelbein und dem übrigen Fuße, zwischen Würfelbein und Fersenbein und zwischen Fersenbein und dem übrigen Fuße. Auch hier hält ein fester Bandapparat die Knochen in ihrer gegenseitigen Lage.

Als Ganzes stellt, worauf wir schon mehrfach hingewiesen haben, der Menschenfuß ein Gewölbe dar, mit seiner Konkavität dem Boden zugekehrt, auf welchem das Fußgerüst namentlich mit drei Punkten fest aufruht: mit der Unterfläche des Fersenbeines, mit dem Köpfchen des ersten und dem des letzten Mittelfußknochens. Eine Abflachung des Fußgewölbes, auf dessen Höhe der Unterschenkel und mit ihm die ganze Last des Körpers ruht, wird trotz der vielfachen Gelenkverbindungen der das Gewölbe darstellenden Knochen durch einen normal sehr festen Bandapparat zwischen den letzteren gehindert.

Die Zehen entsprechen den Fingern. Sie dienen aber für gewöhnlich nicht, wie jene, zum Ergreifen und Festhalten, wozu sie viel weniger geschickt sind als jene, sondern nur zur Verlängerung und Verbreiterung der Unterstützungsfläche des Körpers. Ihre Beweglichkeit paßt die

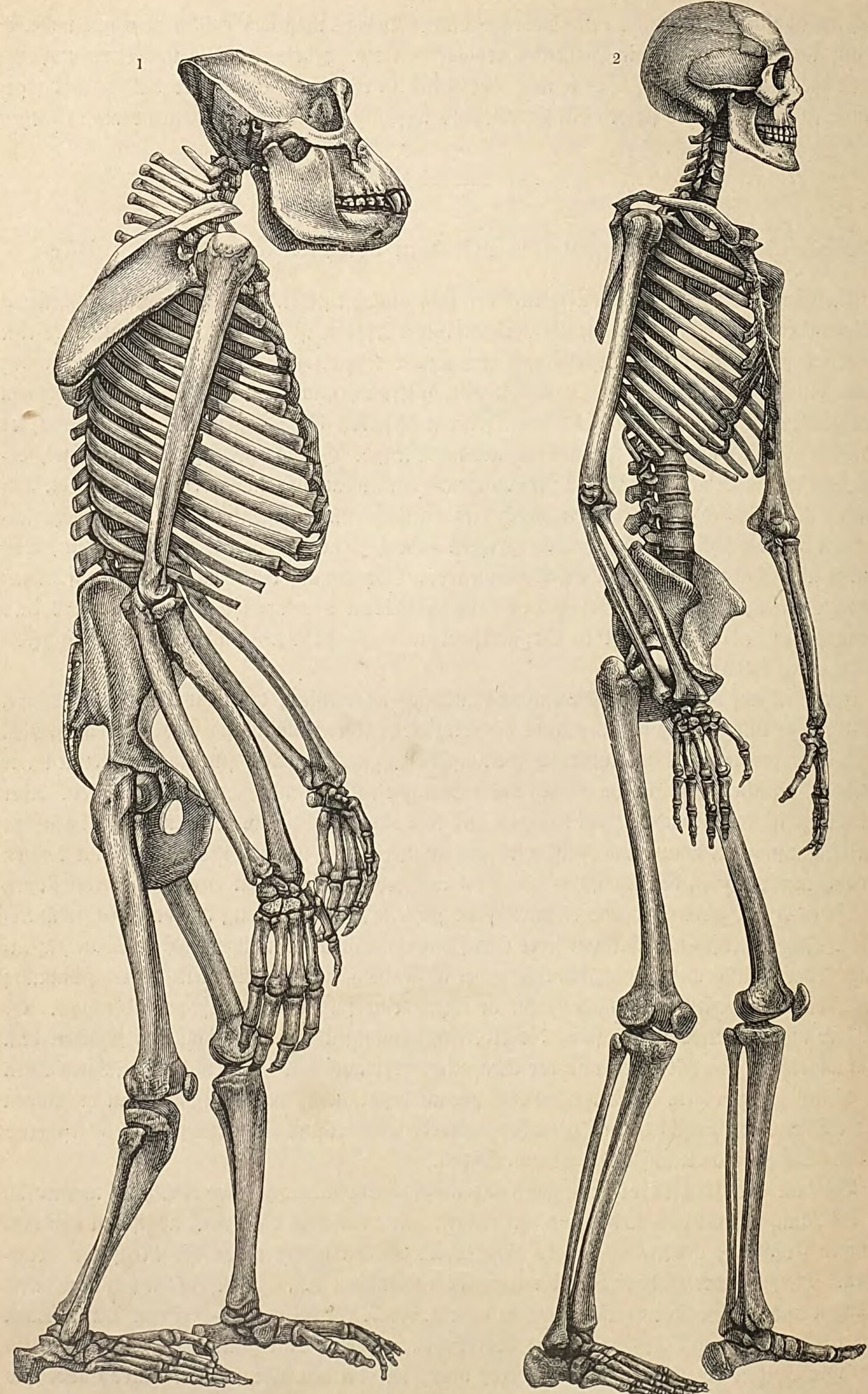
Unterstützungsfläche des Fußes den Unebenheiten des Bodens möglichst vollkommen an, wodurch auch auf unebenem Boden ein Feststehen ermöglicht wird. Ihre Beugung und Streckung verwandelt die Unterfläche des Fußes je nach Bedürfnis in eine mehr ebene oder halb radartig gekrümmte Fläche, wodurch sie den Akt des Gehens wesentlich unterstützen. Ein normales Gehen ist ohne Zehen unmöglich.

Vergleich des Menschenskelets mit dem der menschenähnlichen Affen.

Die Ähnlichkeit zwischen Mensch und den ihm zunächst stehenden Tieren, den Säugetieren im allgemeinen und speziell den menschenähnlichen Affen, ist bezüglich des Organbaues eine so hohe, daß wir in vielen Beziehungen geradezu von prinzipieller Übereinstimmung sprechen dürfen. Und was vom Organbau gilt, gilt auch und zwar vielfach in noch höherem Grade von den Organverrichtungen: das Tier hat dieselben Grundlagen der Organisation, es hat dieselben Gesetze des physischen Lebens wie der Mensch. In wie hohem Maße das gilt, beweisen alle unsere vorausgehenden Darstellungen. Und wenn wir uns mehrfach gegen die Bezeichnung „tierähnlich“ oder „affenähnlich“ für gewisse nur gelegentlich auftretende Spezialbildungen am menschlichen Körper ausgesprochen haben, so geschah das wesentlich darum, weil wir nicht nötig haben, in solchen Erscheinungen eine Abweichung von dem speziell menschlichen Typus zu erkennen, da das Gesetz der Organisation des menschlichen Körpers das Gesamtgesetz aller animalen Organisation umfaßt und dasselbe zur höchsten Darstellung bringt.

Ein Blick auf das Skelet des menschenähnlichsten aller Affen, des Gorilla (s. Abbildung, S. 438), zeigt uns, in wie hohem Grade die prinzipielle Übereinstimmung im Körperbau speziell für den Bau der beiden Knochengerüste Geltung behauptet. Knochen für Knochen können wir vergleichen, an allen zeigt sich im großen und ganzen die entsprechende Formgesetzmäßigkeit. Aber im einzelnen ist kein Knochen, kein Knöchelchen, kein Knochenstück, an welchem diese allgemeine Übereinstimmung im Bau- und Funktionsgesetz in wirkliche Gleichheit überginge. Wir können jeden einzelnen Knochen des Menschen von dem entsprechenden Knochen jedes menschenähnlichen Affen, jedes Affen, jedes Säugetieres durch seine spezielle Formgestaltung auf das sicherste unterscheiden. Jeder Menschenknochen wie jedes Menschenorgan ist in dem allgemeinsten Sinne „affenähnlich“ oder im allgemeinen „tierähnlich“, aber nirgends geht diese prinzipielle Übereinstimmung so weit, daß die speziell menschliche Form in irgend eine spezielle Affenform überginge. Es kann hier nicht unsere Aufgabe sein, die Übereinstimmungen und Abweichungen zwischen dem Gestaltungstypus des Menschen und der Säugetiere oder auch nur der menschenähnlichsten Affen im speziellen zu verfolgen. Wir werden uns darauf beschränken, einige besonders in die Augen fallende Differenzen zwischen den Typen hervorzuheben, wobei uns die vortrefflichen Untersuchungen von R. Hartmann auf das beste unterstützen.

Bei dem Gorillaskelet fällt zuerst die massige Entwickelung aller Knochen, namentlich aber des Rumpfes mit dem Kopfe und den Armen, auf, während die Beine, abgesehen von dem mächtigen Fußskelet, namentlich in den Längendimensionen hinter denen des Menschen zurückbleiben. Die Zahl der Halswirbel ist wie bei dem Menschen 7, sie unterscheiden sich aber durch die langen und starken Dornfortsätze, welche vom 4. bis 7. Wirbel geradezu extreme Dimensionen erreichen (s. Abbildung, S. 438). Mit dem hohen mittleren Knochenkamm des Hinterkopfes bilden ihre Spitzen eine nach hinten konvexe, nicht, wie bei dem Menschen, konkave Linie, und ihre kolossalen Formen entsprechen der gewaltigen Ausbildung der Nackenmuskulatur, bestimmt



1) Skelet des Gorilla. 2) Skelet des Menschen. Vgl. Text, S. 437 und 439.

zur Haltung des schweren, nach vorn weit überhängenden Schädels. Während der Mensch gewöhnlich 12 Rückenwirbel und dem entsprechend 12 Rippen besitzt, zählen wir beim Gorilla 13 oder 14 Rückenwirbel und Rippenpaare, dagegen nur 4 Lendenwirbel, während der Mensch deren 5 hat. Die Wirbelkörper der Rückenwirbel wachsen von oben nach unten in allen drei Dimensionen des Raumes, schärfen sich aber nach vorn etwas keilförmig zu. Die Rippen sind weit gebogen, ihr Mittelstück stark und massig. Von den Rippenknorpeln erreichen 7 den direkten Anschluß an das Brustbein, dessen Mittelstück auch bei alten, vollkommen ausgewachsenen Tieren aus mehreren Knochenstücken gebildet ist, 2 tiefere Rippenknorpel erreichen jederseits noch die Rippenknorpel der 7. Rippe, während die übrigen Rippenknorpel nur unvollständig entwickelt sind und ohne Anschluß an das Brustbein frei zwischen der Bauchmuskulatur endigen, oder es ziehen sich manchmal häutig-sehnige, dünne Streifen von der 10. bis 11. Rippe gegen das Brustbein hin.

„Das knöcherne Becken der menschenähnlichen Affen", sagt R. Hartmann, „mit seinen hohen, schmalen, sich nach vorn kehrenden Darmbeinschaufeln, mit dem tief zwischen dieselben eingesenkten letzten Lendenwirbel, mit den unmittelbar an Schwanzwirbelrudimente erinnernden Kreuzbein- und Steißbeinwirbeln stellt denjenigen Skeletabschnitt dieser Tiere dar, welcher am wenigsten Menschenähnlichkeit aufweist. Die Hüftbeine sind speziell bei dem Gorilla hoch, unten schmal, werden nach obenhin breit und flach und enden hier mit dem einen Kreisbogen beschreibenden Darmbeinkamm. Nur oben bemerkt man einen schwach entwickelten Darmbeinstachel. Kolossal entwickelt sind die Sitz- und Schambeine mit der Symphyse. Die Form des Kreuzbeines ist schmal, länglich kegelförmig, steil nach abwärts gewendet und erinnert an die Basalknochen eines wahren Schwanzes. Die Steißbeinknochen erscheinen als ein echtes Schwanzrudiment."

Mehr an die Menschenform mahnen, abgesehen von ihrer Größe, das Schlüsselbein und das Schulterblatt, dessen Unter- und Obergrätengrube nur geringe Tiefe besitzen. Das Oberarmbein ist der längste Knochen am Gorillaskelet, an dem menschlichen das Oberschenkelbein. Der Winkel, in welchem sein Kopf sich zur Achse des Mittelstückes neigt, beträgt nach Hartmann 60°. Bei dem Oberarmbein des Menschen bildet die Achse des kürzeren Halses, die den Kopf mit dem Schafte verbindet, mit der Längsachse des letzteren nach Gegenbaur einen Winkel von 130 bis 140°. Häufig, aber nicht immer, ist das Oberarmbein des Gorilla über seinem unteren Gelenkende an der bei dem Menschen meist nur dünnen und durchscheinenden Stelle zwischen den Gelenkknorren durchbohrt: das interkondyloide Loch. Der Größe und massigen Entwickelung des Oberarmbeines entsprechen auch die Knochen des Unterarmes. Die Schaftachse der Speiche ist nach vorn und außen, die der Elle nach innen und hinten stark gekrümmt, Verhältnisse, wie sie sich beim Menschen nur als krankhafte Verbildungen entwickeln können. Aber besonders fällt die beinahe monströse Ausbildung des Handskelets auf. Die Mittelhand- und Fingerknochen sind nach oben stark konvex gekrümmt, hakenartig.

Das Oberschenkelbein ist im Vergleich mit menschlichen Proportionen verhältnismäßig kurz, aber sonst kräftig entwickelt. Sein von vorn nach hinten abgeflachtes Mittelstück ist nach vorn stark konvex gekrümmt, das Mittelstück des Schienbeines zeigt statt der dreikantigen Normalform des Menschen die Kanten abgerundet, die Form des Querschnittes nähert sich bis zu einem gewissen Grad einem ziemlich breiten und unregelmäßigen Oval. Auch die Dimensionen des Fußskelets sind kolossale, namentlich fallen die langen, nach oben konvex gekrümmten Mittelfuß- und Zehenknochen auf, die an Länge und Bildung den Fingerknochen ähneln, sowie die bewegliche, an die des Handdaumens erinnernde Gelenkverbindung des Mittelfußknochens der großen Zehe mit der Fußwurzel. „Das Fersenbein ist schlank in seiner Mitte nach außen, mit dem hinteren Höckerabschnitt nach innen gekrümmt. Am Sprungbein ist der Gelenkhöcker des Köpfchens, d. h. des vorderen, in einem Kugelabschnitt endigenden Teiles, mit einem querovalen,

nach innen gewendeten Gelenkhöcker versehen; das mit diesem Höcker in Gelenkverbindung stehende Kahnbein nimmt nun eine ebenfalls dem inneren Fußrand zugewendete Stellung ein", wodurch die Fußwurzel des Gorilla, im Verhältnis zu der des Menschen, eine Knickung ihrer Längsachse erleidet, was bei dem Gehen und Stehen der menschenähnlichen Affen von Bedeutung wird.

Von dem Skeletbau des Schimpanse, welcher im allgemeinen weniger kolossal erscheint, den geringeren Körperdimensionen des Tieres entsprechend, sei speziell nur bemerkt, daß auch bei ihm 13 Rippenpaare und Rückenwirbel und 4 Lendenwirbel vorhanden sind. Die Querfortsätze des 5. und 6. Halswirbels haben die Bildung von Halsrippen, auch die Lendenwirbel besitzen rippenähnliche dünne und lange Querfortsätze. Der Schaft des Schienbeines ist vielleicht im Querschnitt etwas mehr und regelmäßiger oval gerundet als beim Gorilla. Der Orang-Utan hat normal 12 Rippen und Rückenwirbel wie der Mensch, dagegen nur 4 Lendenwirbel. Die unteren Extremitäten sind im ganzen und namentlich im Verhältnis zu den mächtigen Armen noch schwächer entwickelt als bei den zuerst genannten Menschenaffen, auch schwächer nach vorn konvex. Die Querfortsätze der Lendenwirbel sind kurz, das Schlüsselbein, welches bei Gorilla und Schimpanse stark gekrümmt erscheint, ist lang und gerade.

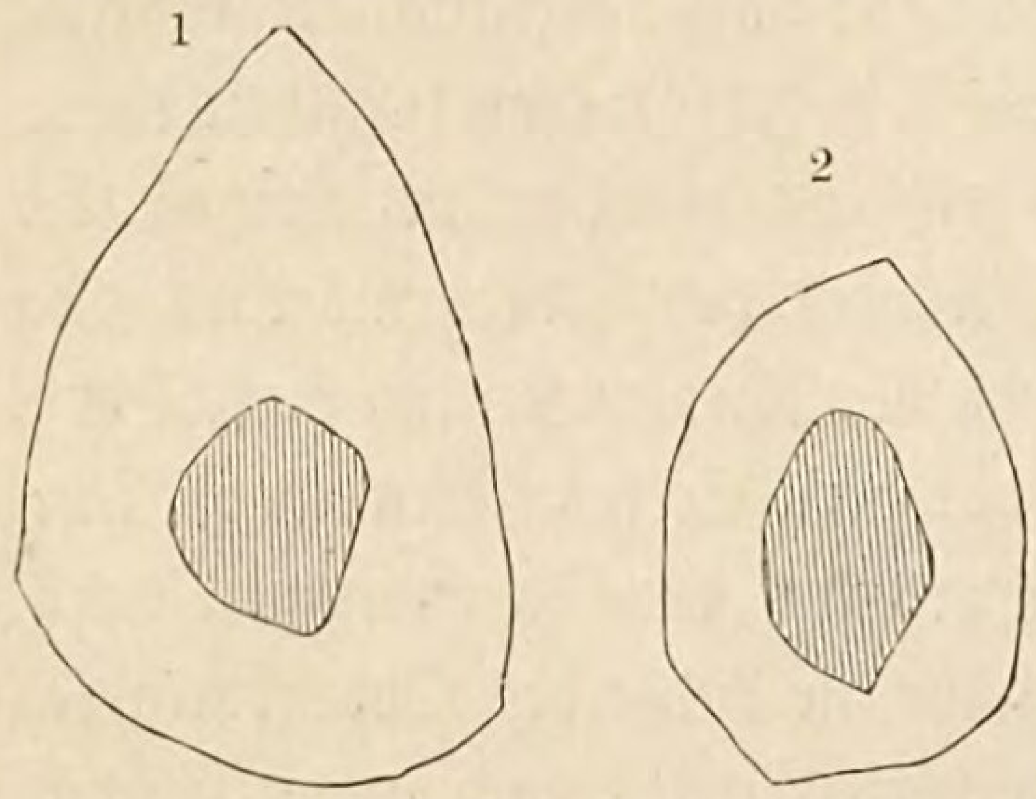
Wir haben bei der Besprechung der angeborenen Mißbildungen schon erwähnt, daß hier und da bei dem Menschen eine Verminderung oder Vermehrung der Wirbel und Rippenpaare eintreten könne, z. B. 13 Brustwirbel mit 13 Rippenpaaren, trotzdem daß 5 Lendenwirbel vorhanden sind. Manchmal sitzt aber das 13. Rippenpaar an dem ersten Lendenwirbel. Wir kommen hier nicht nochmals auf die schon oben (Seite 164) dargelegte entwickelungsgeschichtliche Erklärung dieser nach verschiedenen Richtungen deutenden Bildungsmöglichkeiten für den Menschen zurück, sondern heben nur hervor, daß Welcker, Holl und andere gegenteiligen theoretischen Behauptungen gegenüber einen Fixpunkt für die Beurteilung des Wirbelsäulenbaues annehmen. Diesen Fixpunkt erkennen sie in dem ersten Kreuzbeinwirbel. Dieser Wirbel, der in größter Ausdehnung mit den Darmbeinen sich verbindet, von Welcker als Stützwirbel bezeichnet, ist schon von Anfang an als solcher, wie auch das ganze Kreuzbein, angelegt. Die Wirbel, welche über dem ersten Kreuzbeinwirbel, dem Stützwirbel, liegen, gehören der Lenden- und Rückenwirbelsäule zu; was unter ihm liegt, gehört zum Kreuz- und Steißbein. Der Mensch besitzt nur sehr selten anstatt fünf vier Kreuzbeinwirbel, und bei ihm verbinden sich nur die beiden oberen Kreuzbeinwirbel mit den Darmbeinen, bei dem Gorilla die drei obersten; auch beim Schimpanse treffen wir an voll ausgewachsenen männlichen Tieren das letztere Verhältnis.

Die mehrfach erwähnte doppelt S-förmige Krümmung der Wirbelsäule des Menschen wird von seiner aufrechten Körperhaltung bedingt. Bei den Menschenaffen, ihrer „halbrechten" Körperhaltung entsprechend, ist diese Krümmung der Wirbelsäule weit weniger ausgebildet; Nacken und Rücken krümmen sich konvex nach hinten. Die Wirbelsäulenkrümmung hängt aber bei den Tieren zum Teil von der augenblicklichen Körperhaltung ab. Bei einem aufgerichteten Tanzbären streckt sich die Wirbelsäule ebenso gerade wie bei vollkommen oder übermäßig aufgerichteten menschenähnlichen Affen, und Hartmann bemerkt mit Recht, daß, wenn ein menschenähnlicher Affe sich so weit emporrichtet, daß er zugleich die Hände hinter seinen Kopf zu bringen vermag, sein Rücken nicht nur gerade, sondern sogar in der Lendengegend mehr oder weniger hohl wird. Dagegen kann Verfasser die Angabe Hartmanns nicht bestätigen, daß sich bei den Menschen eine affenähnliche Rückenkrümmung, d. h. also ein nach hinten Konvexwerden auch des Unterrückens, bemerkbar mache, wenn sie „mit steil vom Körper abgewendeten Händen und Füßen" an einem Baume, Maste oder dergleichen emporklettern. Wie die breite, stark nach unten sich erweiternde Brustgegend bei den Menschenaffen durch die breiten und flach nach außen gewendeten

Darmbeinschaufeln direkt und ohne Andeutung der menschlichen Taille in die noch breitere und am lebenden stark vorgewölbte Bauchgegend übergeht, lehrt die Skeletabbildung ohne weiteres.

Abgesehen von der Größe und der im ganzen mächtigeren Entwickelung des Oberarmbeines bei den menschenähnlichen Affen, hat man auch noch auf einige spezielle anatomische Eigentümlichkeiten hingewiesen, welche dasselbe von dem entsprechenden Knochen des Menschen unterscheiden sollen. Während der Kopf des Oberarmbeines bei dem Menschen annähernd einen Kugelabschnitt darstellt, worauf in Verbindung mit der entsprechend gebildeten Kugelschale der Gelenkvertiefung am Schulterblatt die freie Beweglichkeit des Oberarmgelenkes, des freiesten Gelenkes am menschlichen Körper, beruht, fand Äby, daß der Kopf des Oberarmbeines des Gorilla ein quer gestelltes Cykloid sei, so daß hier also eine Hauptdrehachse des Oberarmbeines in querer, transversaler Richtung besteht, was den Schluß rechtfertigt, daß der Gorilla bei dem Gebrauch seiner Oberarme auch vorzüglich diese transversale Gelenkachse benutze. Das Oberarmgelenk des Gorilla wäre danach weniger frei als das des Menschen. Dagegen weicht die Oberarmgelenkbildung bei Schimpanse und Orang wenig von der des Menschen ab; daß aber auch der Gorilla gelegentlich ohne merkliche Behinderung andere Drehachsen seines Oberarmkopfes benutzen könne und vielfach benutzt, erscheint zweifellos. Die Stellung der Gelenkgrube des Oberarmgelenkes am Schulterblatt und ihr entsprechend die Stellung des Gelenkkopfes des Oberarmbeines zum Schafte des Knochens ist bei den vierfüßigen Säugetieren und dem Menschen wesentlich verschieden. Bei dem Menschen entspricht der vollkommenen Loslösung der vorderen Extremitäten, der Arme, vom Boden und von der Aufgabe, zur Ortsbewegung des Körpers auf dem letzteren zu dienen, die Stellung der Schultergelenkhöhle nach außen, auf deren Fläche die Achse des Oberarmkopfes senkrecht steht. Bei den vierfüßigen Säugetieren wendet sich die Gelenkgrube nach unten, so daß der Gelenkkopf, wenn das Vorderbein als Körperstütze dient, in die Gelenkpfanne hineingedrückt wird. Geht der Mensch „auf allen vieren“, so wird im Gegenteil der Gelenkkopf nicht sowohl gegen die Gelenkgrube als besonders gegen die Gelenkkapsel angedrückt, wodurch die Festigkeit der Stütze eine entsprechend geringere wird. Von dieser Stellung der Gelenkgrube zum Oberarmkopf hängt die Stellung des letzteren zum Schaft des Oberarmbeines naturnotwendig ab. Man bezeichnet die schon oben erwähnte Winkelstellung des Oberarmkopfes und Gelenkes zum Oberarmbein als „Drehung des Oberarmbeines“, und Gegenbaur, Lucä und andere haben den Drehungs- oder Torsionswinkel des Oberarmes bestimmt. Nach Gegenbaur beträgt die Abweichung des Torsionswinkels von 180° im Mittel von 36 Fällen beim „Europäer“, respektive Deutschen 12°, der Torsionswinkel beträgt also 168°. Bei den menschenähnlichen Affen ist die Winkelstellung von der des Menschen wenig verschieden, der Torsionswinkel beträgt etwa 150°. Gegenbaur fand, daß bei dem Menschen vor der Geburt und im ersten Kindesalter der Torsionswinkel im Mittel von 19 Fällen um 42° von 180° abwich, sonach nur 138° betrug. Auch bei europäischen Skeleten Erwachsener, namentlich Frauen, bleibt, was man auch bei einzelnen afrikanischen Schwarzen beobachtet hat, der Torsionswinkel niedrig; bei einem Negerskelet wurde er zu 154° bestimmt. Nach W. Braune hängt der Torsionswinkel bei dem Menschen, wie es scheint, ab von dem Gebrauch, der von dem Arme während des Lebens gemacht wird, so daß ein Schreiber oder ein Gelehrter einen anderen Torsionswinkel zeigt als ein Schmied oder ein anderer, schwere mechanische Leistungen mit den Armen ausführender Arbeiter. Der mangelhafte Gebrauch läßt die Ausbildung des Oberarmkopfes nach dem für alle tierischen Organe ausnahmslos gültigen Bildungsgesetz auf einer der kindlichen angenäherten Stufe. Bei den vierfüßigen Säugetieren beträgt der Winkel 90°. In der Reihe der Affen erhebt er sich von 90—100°, ja bis 105°, bei Semnopithecus auf 110°; bei den eigentlichen Menschenaffen kann er, wie oben angegeben, auf 150° steigen.

Das Loch, welches bei den menschenähnlichen Affen häufiger, bei dem Menschen seltener das untere Ende des Oberarmbeines über den Gelenkknorren durchbohrt, wurde schon erwähnt. Broca und andere, namentlich französische Forscher haben eine Statistik des Vorkommens dieses „interkondyloiden Loches" aufzunehmen versucht. Broca fand das Loch bei der älteren und neueren Pariser Bevölkerung etwa gleich häufig 4,1—5,5 Prozent. Bei den Hottentotten und Guanchen soll das Loch häufiger sein, auch bei Negern hat man es nun beobachtet. Brocas Meinung nach besitzt das Loch keine Bedeutung für einen höheren oder niederen Grad der Organisation, doch scheint es in der Steinzeit Frankreichs häufiger (von 10,6—27 Prozent) gewesen zu sein als später. Es macht übrigens Broca schon darauf aufmerksam, das man bei derartigen Angaben sich hüten müsse, das, was nur Merkmal einer Familie, eines untereinander heiratenden und seine speziellen körperlichen Eigenschaften vererbenden kleinen Stammes ist, zu generalisieren. Das wird bestätigt dadurch, daß in verschiedenen annähernd gleichalterigen Stationen aus prähistorischer Zeit Frankreichs (Dolmen) die Anzahl der durchbohrten Oberarmbeine von 0 bis 25 Prozent schwankend gefunden wurde. An (69) Oberarmbeinen von modernen französischen Basken fand Broca das Loch zu 13,4 Prozent. Bei dem weiblichen Geschlecht soll die Durchbohrung des Oberarmbeines häufiger sein als bei dem männlichen. Anderseits könnte man die Durchbohrung, da sie häufig an den mächtigen Oberarmbeinen der Affen auftritt, als ein Zeichen besonders kräftiger Ausbildung des Armskelets betrachten. Zweifellos ist das Loch keine eine Rasse bestimmende, sondern eine aus einer bestimmten individuellen Benutzung des Armes hervorgehende, durchaus individuelle Bildung.



Tibia-Querschnitte (nach Hartmann). 1) Normale Form des Menschen. 2) Normale Form des Schimpanse.

Über die Eigentümlichkeiten des Unterarmbaues haben wir oben zur Genüge gehandelt. Von der Handwurzel sei noch erwähnt, daß der Orang-Utan regelmäßig einen neunten Handwurzelknochen, Gegenbaurs Os centrale carpi, besitzt, welcher bei Gorilla und Schimpanse bis jetzt noch nicht, beim europäischen Menschen aber schon mehrfach aufgefunden wurde. Pfitzner fand, daß die Hand- (und Fuß-)Wurzelknochen bei den Wirbeltieren, auch beim Menschen, überhaupt normal in viel größerer Anzahl angelegt sind, als man bisher annahm, und daß die sogenannten überzähligen Knochen in der Hand- (und Fuß-)Wurzel in Wahrheit in gewissem Sinne typische sind, die entweder vollständig ausgebildet werden, oder in ihrer Entwickelung zurückbleiben und verschwinden können.

Am Oberschenkelbein des Menschen beschrieb Waldeyer neben dem großen und kleinen Knorren oder Trochanter noch einen dritten Rollhügel den Trochanter tertius, ein „Muskelfortsatz", niedrig, stumpf, im Beginn der äußeren Lippe der rauhen Linie (Linea aspera) des Schaftes des Oberschenkelbeines sich erhebend. Es ist nach Gegenbaur die Ansatzstelle des Gesäßmuskels (Tuberositas glutaealis), seine stärkere Entwickelung also, da die massige und starke Ausbildung des Gesäßmuskels eine speziell menschliche Eigenschaft ist, eine typisch menschliche. Während der dritte Rollhügel den Affen fehlt, findet er sich daher bei allen Menschenrassen. Beim Pferde, Esel, Nashorn und Tapir, bei manchen Nagern ist ein dritter Rollhügel entwickelt, auch bei anderen Säugetieren fehlt er, der speziellen Muskelausbildung entsprechend, nicht ganz.

Eine sehr auffallende Bildung zeigt sich hier und da an den Schienbeinen und Wadenbeinen des Menschen: die sogenannte Säbelscheidenform, die Platyknemie, welche wir hier erwähnen, da sie früher und zum Teil noch heute unter die „affenähnlichen" Bildungen des Menschen gerechnet worden ist, obwohl die wahre Form der Platyknemie bei keinem menschenähnlichen

Affen vorkommt. „Es ist also", sagt Virchow, „kein pithekoides, affenähnliches Zeichen." Das normale Schienbein des Menschen ist auf dem Querschnitt dreieckig, wie die Abbildung, S. 442, Fig. 1, andeutet. Es kann nun aber gleichsam das Schienbein von beiden Seiten her so platt gedrückt erscheinen, daß verschiedene Beobachter unabhängig voneinander auf eine Vergleichung mit einer Säbelscheide verfallen sind. Das Schienbein verwandelt seine breite, säulenartige Gestalt in die eines flachen und relativ schmalen Knochens um. Die Seitenflächen können geradezu vertieft sein, so daß der mittlere Teil dünner ist als die hervortretenden Kanten. Es ist das eine Verunstaltung, welche gewiß etwas sehr Überraschendes, Befremdendes hat. Broca machte die Beobachtung zuerst bei Eröffnung eines Dolmen im nördlichen Frankreich, später fand er platyknemische Schienbeine auch in anderen alten Begräbnisplätzen der prähistorischen Periode Frankreichs, aber auch in französischen Kirchhöfen aus historischer Zeit. Auch unter der modernen eingeborenen Bevölkerung der Südsee und unter den Schwarzen Afrikas hat man solche Säbelscheidenbeine beobachtet, und Hartmann sagt: „Jede größere europäische Anatomie wird Schienbeine aufzuweisen haben, an denen ein gewisser Grad von Platyknemie zu demonstrieren ist." Dagegen hat Busk gemeint, da sich die Platyknemie häufig bei den alten Höhlenbewohnern von Gibraltar, den Höhlenbewohnern von Wales und der englischen Küste, dann wieder bei Höhlenbewohnern in Südfrankreich vorfinde, daß eine besondere, durch solche platyknemische Schienbeine ausgezeichnete „niedere" Rasse über ganz Europa verbreitet gewesen sei. Virchow, der ihre Affenähnlichkeit widerlegt hatte, wendete sich auch gegen die Meinung, als handle es sich bei der Platyknemie um ein Zeichen niederer Bildung. Er wies darauf hin, daß zu einem platyknemischen Skelet aus einem kujavischen Grabe der Steinzeit bei Janischewek ein ganz besonders wohl entwickelter, mit vortrefflichem Gehirnraum ausgestatteter Schädel gehörte, zum Beweise, daß Platyknemie nicht eine niedrigere Gehirnentwickelung voraussetze, in der doch vor allem die wahrhaft niedrige, „tierähnliche" Stellung eines Individuums oder einer Rasse begründet sein müßte. Anderseits fand Virchow die Platyknemie auch unter wahren Kulturvölkern alter Zeit weitverbreitet, er enthob den aus dem 3. bis 4. Jahrhundert der christlichen Zeitrechnung stammenden Gräberfeldern Transkaukasiens solche Schienbeine und auch einem der großen Grabhügel, welche Schliemann und Calvert in der Troas ausgegraben haben, dem Hanai Tepeh. „Glücklicherweise lag eine Menge sonstiger Funde allerlei Art dabei, die den Beweis führen, daß die Bevölkerungen, von denen diese Schienbeine stammen, in Transkaukasien und in der Troas, in den Künsten des Friedens weit erfahren waren, daß sie Kunstgewerbe zu handhaben verstanden und überhaupt der Zivilisation erschlossen waren." Man hatte früher die jetzt widerlegte Meinung ausgesprochen, die Plattheit des Schienbeines sei durch jenen häufigen Krankheitsprozeß der Knochen bedingt, den man als Rhachitis zu bezeichnen pflegt. Nach Virchows Ansicht handelt es sich vielmehr um eine spezielle Bildung, bedingt durch die besondere, in starkem und einseitigem Maße ausgeübte Art der Thätigkeit der Unterschenkelmuskeln, welche sich an dem Schienbein befestigen. Durch Muskelwirkung auf den Knochen und spezielle Benutzung des Knochens können, wie die Anatomie längst nachgewiesen hat, sowohl Vorsprünge als Vertiefungen, im allgemeinen mannigfache Umformungen der Knochengestalt erfolgen. So dürfen wir nun mit Virchow fragen: waren die Leute, welche solche flache und schmale Schienbeine besaßen, nicht im extremen Maße Schnellläufer, Nomaden, Hirten oder sonst so etwas? Die Frage verdient es, in diesem Sinn unter den modernen Bevölkerungen Europas geprüft zu werden. Als eigentliches Rassenmerkmal verliert aber die Platyknemie mit der Einreihung unter die „physiologischen und gleichzeitig individuellen Umgestaltungen" der Menschenform ihren Hauptwert. Während Broca, Busk und andere in der Platyknemie ein ethnologisches Phänomen erblickten, erkennen wir in ihr mit Virchow nur eine individuelle Erscheinung, nicht aus erblicher Übertragung entstanden, sondern die

individuelle Folge einer erst im Laufe des Lebens durch Muskelwirkung eingetretenen Veränderung der Knochenentwickelung. An der Platyknemie der Schienbeine nehmen auch die Wadenbeine durch Verschmälerung ihres Schaftes Anteil. Giuseppe Sergi suchte das Verhältnis der eigentlich platyknemischen zu den wohlgebildeten Schienbeinen durch Berechnung eines „Schienbein-Index" oder „knemischen" Index aus dem Dicken- und Breitendurchmesser des Schienbeines in der Mitte des Schaftes festzustellen. Für das berühmte Schienbein von Eyzies, dessen Dickendurchmesser, der Durchmesser von vorn nach hinten, in der Mitte des Schaftes 45 mm, dessen Querdurchmesser 27 mm beträgt, berechnet er als Schienbein- oder knemischen Index $\frac{45 \cdot 100}{27} = 60$. Er selbst fand als untere Grenze des Schienbein-Index 57,42 bei einem platyknemischen, als obere Grenze 92,75 bei einem normal gebauten Schienbein. Sergi ordnet die Indices in folgender Weise:

	Schienbein-Index.
Platyknemie (eigentliche Säbelscheidenschienbeine) . . .	bis 66,00
Subplatyknemie (Annäherung an die Säbelscheidenform)	von 66,01 — 71,00
Wohlgebildete Schienbeine (Euknemie)	von 71,01 und darüber.

Es ist übrigens zu bemerken, daß Sergis Querschnittzeichnungen der Schienbeine beweisen, daß auch recht schmalen Schienbeinen der Menschen doch eine ziemlich ausgebildete hintere Fläche und damit eine Anlehnung an die normale Schienbeinform zukommen kann, während nach der Definition Virchows gerade das Fehlen der hinteren Fläche für die Platyknemie entscheidend ist. Immerhin sind die Indexmessungen zur allgemeinen Orientierung von Wert, wenn sie uns auch nicht allein und für sich ein schon ganz sicheres Urteil über die Form des Schienbeins gestatten. An den etwa 100 etruskischen Skeleten in Bologna fand Sergi platyknemische Indices sehr häufig, wahre Platyknemie nach seiner Abgrenzung fand er zu 27,51 Prozent, Subplatyknemie zu 16,32, Euknemie also nur zu 56,17 Prozent.

Bei dem Gorilla ist der Fersenhöcker nach innen gekrümmt. Eine Andeutung davon findet sich auch als individuelle Bildung manchmal bei dem Menschen. Menschen, welche auf den Boden niedergekauert mit nach außen gebogenen Knieen von Kindheit an und viel zu sitzen gewohnt sind, zeigen eine Einwärtsdrehung der Ferse. Verfasser wurde darauf bei den sonst so überraschend schön gebildeten Füßen der Feuerländer, welche Virchow geradezu als Normalfüße erklärte, aufmerksam.

Von den sehnigen Bändern (Ligamenten), welche das Knochengerüst zusammenhalten und festigen, sei hier nochmals das Nackenband erwähnt, welches bei dem Menschen, dessen Kopf im wesentlichen auf der Wirbelsäule im Gleichgewicht ruht, relativ schwach erscheint, bei dem Gorilla, bei dem es mit den Nackenmuskeln den gewaltigen, nach vorn überhängenden Schädel zu tragen hat, kaum weniger mächtig ausgebildet ist als bei einem vierfüßigen Tiere mit ähnlich schwerem Kopfe. J. F. Meckel hat entdeckt, daß dem Orang-Utan das runde Band (Ligamentum teres) in der Hüftpfanne fehlt; bei dem Gorilla und Schimpanse ist es dagegen zwar nicht völlig konstant, aber doch in der Mehrheit der Fälle, wenn auch geringer als bei dem Menschen ausgebildet, vorhanden. Owen wollte den auffallend schwankenden Gang des Orang-Utan aus dem Fehlen dieses Bandes ableiten, aber R. Hartmann bemerkt mit Recht, daß auch die anderen Menschenaffen, Gorilla und Schimpanse, die doch das Band meist besitzen, höchst ungeschickt gehen. Der verschiedenen Stärke und den verschiedenen Dimensionen des Knochengerüstes der Menschenaffen und des Menschen entspricht auch eine verschiedene Stärke und Länge der Bandapparate.

11. Muskeln und Muskelbewegungen.

Inhalt: Anatomie und Mechanik der Muskeln. — Elastizität und Kontraktilität der Muskeln. — Die chemischen Eigenschaften des Muskelgewebes. — Lebensvorgänge im ruhenden und thätigen Muskel. — Muskelerregbarkeit und Muskelreize. — Die Muskeln des Menschen und der menschenähnlichen Affen. — Hand und Fuß. — Einfluß von Klima und Rasse auf die Arbeitsleistungen.

Anatomie und Mechanik der Muskeln.

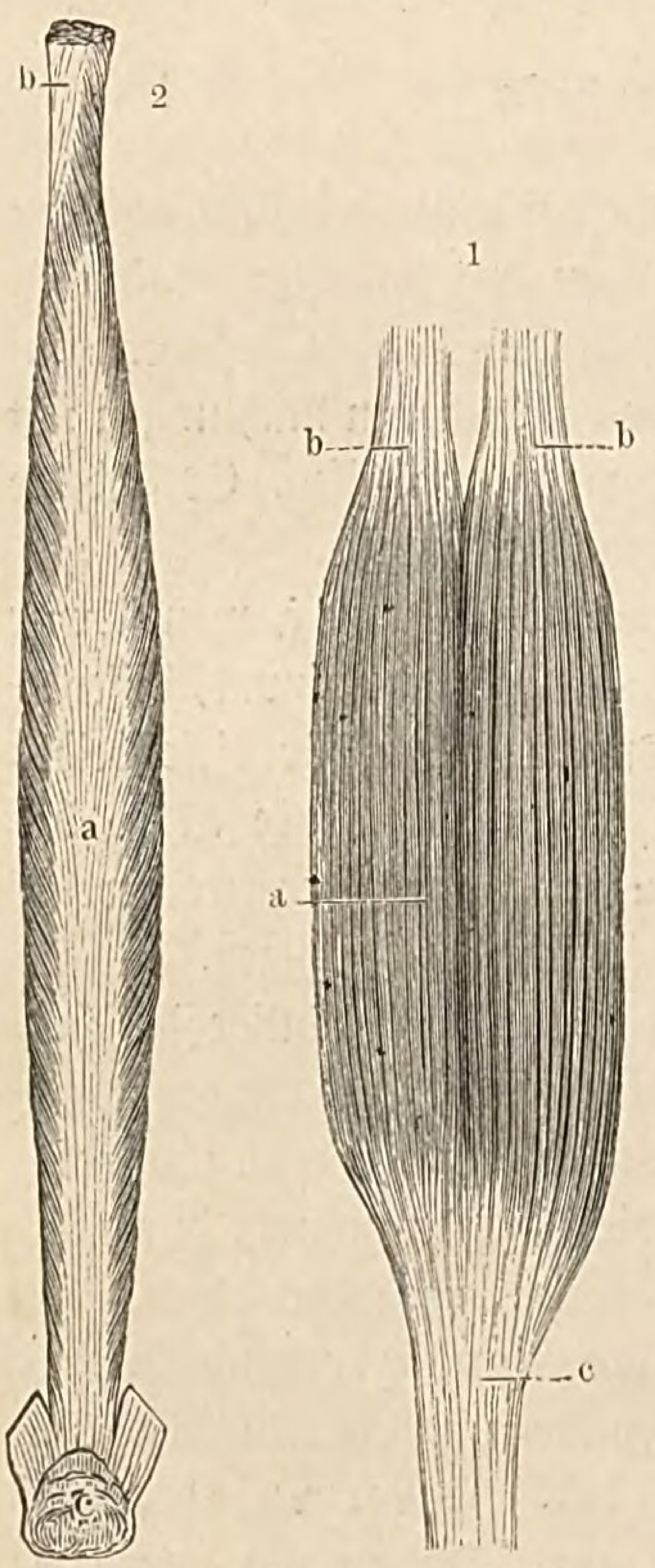
Bei der Zergliederung des Menschenleibes stoßen wir unmittelbar unter der äußeren Haut und ihrer Fettunterlage auf das Fleisch, aus mehr als 300 massigen, rot gefärbten, elastischen Bändern, die selbst wieder aus einer Unzahl mit freiem Auge sichtbarer Fasern bestehen, zusammengesetzt, welche, von mannigfacher Größe und Form, in sehr verschiedenen Richtungen mit den Knochen verbunden sind und die Mehrzahl derselben fast vollkommen umhüllen. Es sind die Skeletmuskeln, dem Gewicht nach etwa 45 Prozent der gesamten Körpermasse.

Während bei den niedrigsten tierischen Wesen das Protoplasma, welches den ganzen Körper bildet, auch die Thätigkeiten der Bewegung und Empfindungsvermittelung übernimmt, differenzieren sich beim Menschen und allen höheren Tieren Protoplasmabildungen für diese beiden Funktionen in Muskeln und Nerven. Die Muskeln sind in erster Linie die aktiv bewegenden und gleichzeitig die Bewegungskräfte produzierenden Organe, welche unseren Körper und seine einzelnen Glieder zu ihren mechanischen Leistungen befähigen.

Die Muskeln sind Zusammenhäufungen zahlloser mikroskopischer, aber durch häutige Zwischenlagen zu gröberen „Muskelfaserbündeln" vereinigter Fasern, Muskelfasern, jede mit der Fähigkeit ausgerüstet, unter gewissen Bedingungen sich in der Längsrichtung zu verkürzen und dafür in der Querrichtung anzuschwellen, so daß der Rauminhalt, den die Faser einnimmt, durch ihre Verkürzung, Kontraktion oder Zusammenziehung, im wesentlichen ungeändert bleibt. Die Ursache der Kontraktion der Muskelfaser ist normal der physiologische Erregungszustand einer mit der Muskelfaser anatomisch verbundenen Nervenfaser. Diese Nervenfasern, welche Muskelkontraktion hervorrufen können, unterscheidet man als bewegende oder motorische Nervenfasern von den eine Empfindung vermittelnden oder sensibeln Nervenfasern. Indem sich alle einen Muskel zusammensetzenden Muskelfasern zusammenziehen, verändert der gesamte Muskel seine ihm im Ruhezustand eigentümliche Gestalt in derselben Weise wie die einzelne Muskelfaser, er kontrahiert sich, wodurch er im ganzen dicker und kürzer wird. Durch seine Verkürzung bewirkt der Muskel eine Stellungsveränderung jener beweglichen Skeletteile, an denen er mittels seines Anfangs- und Endpunktes angeheftet ist.

Die Symmetrie des Körperbaues des Menschen bedingt es, daß fast ausschließlich alle Skeletmuskeln paarweise auf beide Körperhälften verteilt vorkommen, ein jeder dem der anderen Seite im allgemeinen gleich; doch erscheinen, wie die Knochen, so auch die Muskeln der rechten Körperhälfte meist etwas kräftiger entwickelt als die der linken. Jeder einzelne Muskel zeigt normal bei verschiedenen Individuen die gleiche spezifische Form, während die einzelnen Muskeln des Körpers in ihrer Form untereinander wesentlich differieren, namentlich durch die Verschiedenheit der Richtung, in welcher sie sich ausbreiten. Danach unterscheidet man vorzüglich lange und kurze, breite und ringförmige Skeletmuskeln. An jedem Muskel benennt man die beiden Enden je als Ursprungs- und Ansatzpartie. Mit seinen beiden Enden ist der

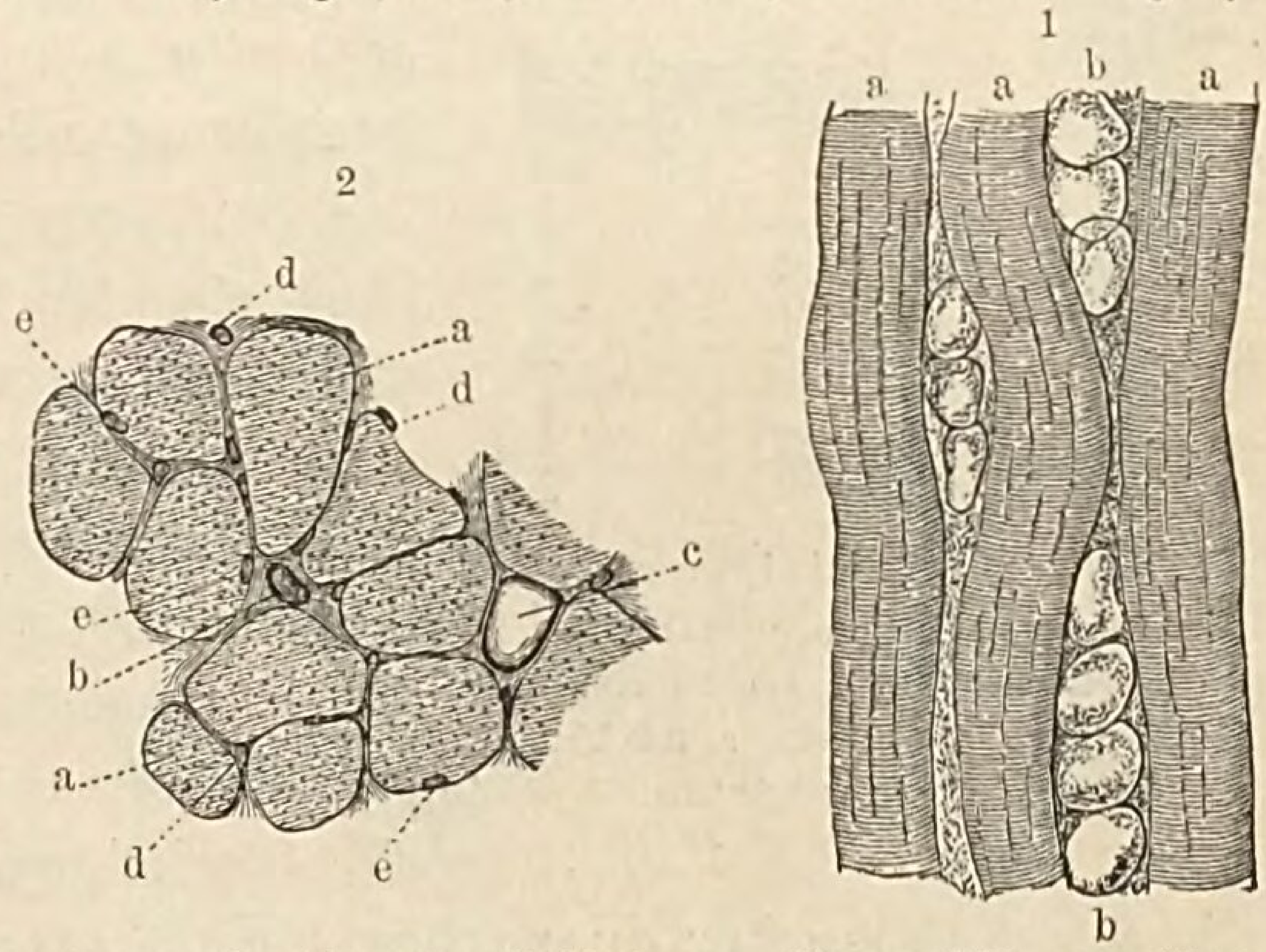
Skeletmuskel, meist am Knochen, unverrückbar befestigt, während der übrige Muskelkörper infolge mehr oder weniger lockerer, meist häutiger Verbindungen mit der Nachbarschaft sich in seiner Lage so weit verschieben kann, als es für die Ausführung seiner Kontraktionsbewegungen unerläßlich ist. Die fleischige Hauptmasse des Muskels nennt man Muskelbauch, die sehnige Ursprungspartie Muskelkopf, die ebenfalls sehnige Ansatzpartie Muskelschwanz. Die Sehnen, in welche die Muskeln an Kopf und Schwanz übergehen, dienen zunächst zur Befestigung an den Ursprungs- und Ansatzstellen. Die Ursprungssehnen einiger Muskeln sind dick, breit und lang, bei anderen Muskeln dagegen kurz und zart. Häufig bringen die Sehnen mit schmäleren oder breiteren, meist hautartigen Fortsätzen tief in die Muskelsubstanz ein oder ziehen sich am Rande des Muskelbauches eine Strecke lang hin. Die längsten Sehnen finden sich an den Schwanzenden der Muskeln; sie erscheinen dünn, lang, strangartig gerundet, doch sind die Ansatzsehnen vielfach auch dick, aber mehr flach, breit. Manche Muskeln stehen in Verbindung mit sehnigen Hautausbreitungen (Aponeurosea).



1) Zweiköpfiger Muskel. a) Muskelbauch, bb) die beiden Muskelköpfe, c) Muskelschwanz. 2) Gefiederter Muskel. a) Muskelbauch, b) Muskelkopf, c) Muskelschwanz.

Je nachdem die Muskeln einen einfachen Bauch, Kopf und Schwanz besitzen oder von dieser schematischen Grundgestalt sonstwie abweichen, unterscheidet man einfache oder zusammengesetzte Muskelindividuen. Muskeln, deren fleischige Bäuche an einer Stelle ihres Längsverlaufes von einer Sehnenmasse unterbrochen werden, bezeichnet man als zweibäuchige Muskeln. Am ausgebildetsten ist diese Sehnenunterbrechung bei dem den Unterkiefer nach abwärts ziehenden Muskel, welcher davon seinen speziellen Namen als zweibäuchiger Muskel (Musculus digastricus) erhalten hat. Seine Mittelsehne geht am Zungenbein durch eine Art von sehniger Schlinge und steigt von da aus wieder nach aufwärts und vorn zum Unterkiefer. Wird der Muskelbauch, wie bei dem geraden Bauchmuskel (M. rectus abdominis), durch mehrere quer verlaufende sehnige Querstreifen unterbrochen, so bezeichnet man die letzteren, ihrem gezackten Verlauf entsprechend, als Sehneinschriften. Der Muskelkopf ist manchmal in zwei, drei, vier oder viele Portionen gespalten, danach benennt man die Muskeln als zwei-, drei-, vier- oder vielköpfige (s. nebenstehende Abbildung, Fig. 1). Läuft durch die Längsmitte des Muskels eine sehnige Zwischenmasse oder Sehne, gegen welche von zwei Seiten her die Muskelfaserbündel untereinander annähernd parallel, aber in schiefer Richtung zur Längsachse des Muskels einstrahlen, so bezeichnet man nach der Ähnlichkeit mit einer Federfahne einen solchen Muskel als gefiedert (s. Abbildung, Fig. 2); läuft eine sehnige Begrenzung nur an einem Längsrande des Muskelbauches herab, und strahlen gegen diese die Muskelbündel also nur von einer Seite her in schiefer Richtung ein, so bekommt der Muskel die Bezeichnung halbgefiedert. Einige Muskeln spalten sich in eine Anzahl fleischiger Ansatzzacken, mit welchen sie sich zum Teil zwischen entsprechende Zacken von Nachbarmuskeln einschieben; solche Muskeln nennt man Sägemuskeln, von denen wir die auffälligsten Beispiele bei den oberflächlichen Muskeln an den beiden Seitenwandungen der Brust antreffen.

Unter der Körperhaut und dem direkt unterliegenden Fettgewebe findet sich die Fleischmasse zunächst noch gedeckt von einer mehr oder weniger feinen oder festeren, elastischen bindegewebig-sehnigen Hüllschicht, welche man im allgemeinen als oberflächliche **Muskelbinde** oder Unterhautbinde (Fascia) benennt; ihre einzelnen Abschnitte werden je mit einem besonderen Beinamen nach der Körperregion oder dem Körpergliede unterschieden. Diese Sehnenbinden treten auch in die Tiefe der Muskulatur und scheiden einzelne Muskeln oder Muskelgruppen voneinander. Jeder Muskel ist mit seinen Endsehnen von lockerem Bindegewebe wie von einer Art angewachsener Scheide umhüllt und dadurch, wie gesagt, mit den Nachbarorganen nur so weit verbunden, daß doch eine gewisse Beweglichkeit, wie sie die Muskelzusammenziehung erfordert, ermöglicht bleibt. Auch in das Innere des Muskels dringen diese bindegewebigen Hüllschichten ein und umgeben die einzelnen Muskelbündel und Muskelfasern. In diesem Bindegewebe entwickelt sich bei wohlgenährten Individuen **Fett**; stets ist das Bindegewebe der alleinige Träger der Blutgefäße, auch der Lymphgefäße und Nerven für die Muskeln und ihre Fasern (s. untenstehende Abbildungen). Sind diese sehnig-häutigen Schichten derber, so nennt man sie **Sehnenhäute** (Aponeurosen), welche geradezu als flächenhaft ausgebreitete Sehnenbildungen erscheinen. Manche solcher Sehnenhäute dienen Muskeln zum Ansatz oder Ursprung. Sehnenhäute deuten teilweise die Trennung von Muskeln an, die an ihrem Ursprung verwachsen erscheinen, oder sie wachsen am Knochen an und stellen dann sehnige Brücken zwischen benachbarten Knochen dar, welche ebenfalls vielfach als Ursprungsstellen für Muskeln Verwendung finden. Unter den bindegewebigen Bildungen, welche mit dem Muskelsystem in Verbindung treten, beanspruchen eine besondere Bedeutung für die Ausführung der Muskelbewegung die **Schleimbeutel** und die **Schleimscheiden der Sehnen**.

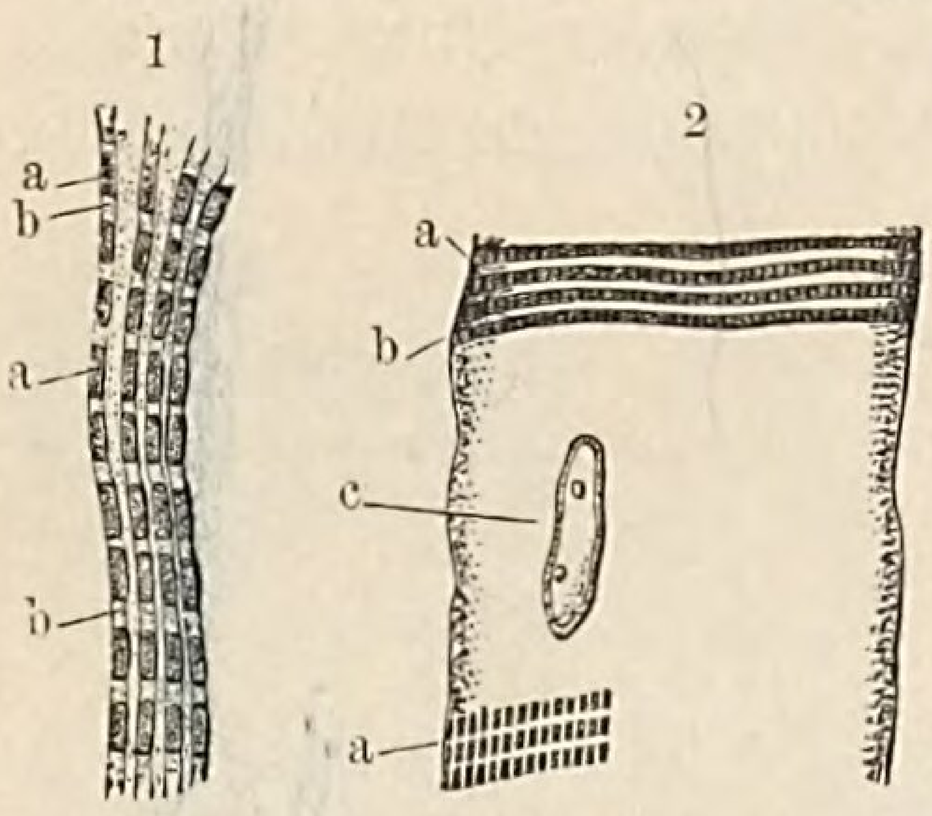


1) **Quergestreifte Muskelfasern.** Längenansicht, vergrößert. a) Muskelfasern, b) Fettzellen und Bindegewebe. 2) **Quergestreifte Muskelfasern.** Querschnitt, vergrößert. a) Muskelfasern, be) Blutgefäße zwischen den Muskelfasern, c) Fettzelle, d) Kerne der Muskelfasern.

Die Schleimbeutel erscheinen als runde oder ovale, geschlossene Säckchen, welche sich namentlich an jenen Stellen unter Muskeln oder Bändern finden, wo diese an harten Knochenunterlagen hingleiten, oder wo ein dauernder Druck gegen solche stattfindet. Die Hohlräume der Schleimbeutel sind mit einer schleimigen, der Gelenkflüssigkeit ähnlichen und mechanisch wie diese wirkenden, d. h. Reibung und Druck vermindernden Flüssigkeit erfüllt. Die Schleimscheiden umhüllen die Muskelsehnen namentlich an jenen Stellen scheidenartig, an denen diese, wie z. B. bei ihrem Eintritt vom Vorderarm in die Hand, besonders ausgedehnte, gleitende Bewegungen auszuführen haben; auch sie werden auf ihrer Innenfläche durch eine schleimige Flüssigkeit schlüpfrig gemacht. Außerdem halten hier die miteinander verwachsenen und durch Verstärkungen der Fascie, d. h. der allgemeinen Sehnenhaut, welche wie Bänder wirken, noch weiter befestigten Sehnenscheiden die durch sie hindurch laufenden Muskelsehnen in ihrer gegenseitigen ungestörten Lagerung.

Bei der **mikroskopischen Untersuchung** zeigen sich, wie gesagt, die mit freiem Auge noch unterscheidbaren gröberen Muskelfaserkomplexe als Bündel sehr zahlreicher feinster Fäserchen, es sind das die **mikroskopischen Muskelfasern** oder **Muskelprimitivfasern**. Sie stellen, wie wir uns aus der allgemeinen Betrachtung der mikroskopischen Gewebsbestandteile unseres Organismus erinnern, schlauchförmige, mehrfache „Kerne" enthaltende Bildungen dar, welche in eine

zarte Hülle (Sarcolemma) einen zähflüssigen, protoplasmatischen Inhalt einschließen, der sich in auffälliger Weise quergestreift zeigt, indem dunkle und helle Querstreifen senkrecht auf die Längsachse der Primitivmuskelfaser dicht gestellt miteinander abwechseln (s. untenstehende Abbildungen). Die Substanz der hellen Streifen ist optisch einfachbrechend, während die Substanz der dunkeln Streifen die Eigenschaft der optischen Doppelbrechung zeigt. Nach Brücke verdankt die letztere Substanz ihr Vermögen der Doppelbrechung kleinen, regelmäßig angeordneten, doppelbrechenden Teilchen, welche er als Disdiaklasten benannte. Auch die feinsten mikroskopischen Muskelfasern, welche teils die Länge des ganzen Muskels durchziehen, teils im Muskelverlauf mit ziemlich scharfer Spitze endigen, sind in zartes Bindegewebe eingekittet, in welchem die Muskelkapillaren sich in typischer Weise verzweigen. Die Kapillargefäße bilden um die Muskelprimitivfasern, in welche selbst sie nicht eindringen, ein Netz rechteckiger Maschen, deren längere Seiten der Längsachse des Primitivbündels parallel laufen (s. Tafel „Verschiedene Formen von Haargefäßnetzen"). Die Muskelkapillaren gehören zu den feinsten Blutgefäßen des ganzen Körpers, ihr Breitendurchmesser schwankt zwischen 0,004 und 0,006 mm.



Muskelprimitivfasern.
1) Muskelfaser von Proteus, stark vergrößert; a) Fleischteilchen, b) helles Bindemittel. 2) Muskelfaser vom Schwein; a) und b) wie bei 1), c) Muskelfaserkern.

Nach den Zählungen Valentins kommen im Durchschnitt etwa auf 1 qcm Querschnitt eines menschlichen Muskels (Valentin benutzte zu diesen Zählungen den Schneidermuskel aus der Leiche eines kräftigen, zweiundzwanzigjährigen Mannes) 28,633 Muskelprimitivfasern, deren Dickendurchmesser zwischen 0,01 und 0,07 mm schwanken könne. An solchen Stellen der Muskeln, wo sie wenig gröberes Bindegewebe besitzen, steigt die Zahl der auf 1 qcm Querschnitt befindlichen mikroskopischen Muskelprimitivfasern auf mehr als die doppelte Anzahl.

Die Sehnen der quergestreiften Muskeln setzen sich zusammen aus der Fortsetzung der leeren Scheiden der Primitivmuskelfasern und aus der Fortsetzung des die Muskelfasern im Muskel zusammenhaltenden Bindegewebes. Die Fasern der quergestreiften Muskelsubstanz endigen zugespitzt oder stumpf kegelförmig am Sehnenursprung. Wie die Sehnenhäute, bestehen sonach die eigentlichen Muskelsehnen aus festem, elastischem Bindegewebe, welches sich in Bündel von Sehnenfasern, in Sehnenfaserbündel, ordnet, die durch lockeres Bindegewebe, wie die Muskelfaserbündel, zusammengehalten werden; in letzterem verlaufen die Blut- und Lymphgefäße sowie die Nerven der Sehnen. Trotz der ihnen nicht fehlenden elastischen Formelemente sind die Sehnen doch so wenig dehnbar, daß sie in dieser Beziehung noch zu den starren Maschinenteilen der menschlichen Maschine zu rechnen sind. Sie dienen wesentlich dazu, mit Hilfe des Skelets die Muskelbewegung, welche überall in gleicher Weise als eine lineare Verkürzung in Wirksamkeit tritt, in zweckmäßiger Weise für die allgemeinen Aufgaben des Organismus zur Verwendung kommen zu lassen. Bei der Mehrzahl der Muskeln erscheint die Muskelachse vom Ursprung bis zum Ansatz als eine gerade Linie. Es findet sich aber eine Anzahl von Muskeln, bei welchen, indem sie vor ihrem Ansatz sich über Knochenrollen oder ähnlich wirkende Vorsprünge hinwinden, ähnlich wie bei einem Flaschenzug das Seil über eine Rolle hingeht, die primäre Zugrichtung ihrer Muskelfasern wesentlich verändert wird. Den Verlauf des „zweibauchigen Muskels" (Musculus digastricus), welcher dieses Verhalten illustriert, haben wir schon oben erwähnt; der „obere schräge Augenmuskel" (M. trochlearis) sendet in ähnlicher Weise seine Sehne durch eine von einem Bande gebildete Schlinge, wodurch ihre Richtung vollkommen geändert, d. h. winkelig abgebogen wird, bevor sie ihren Ansatz erreicht. Sehr zahlreich finden sich ähnliche, wenn auch weniger augenfällige Einrichtungen bei den Muskeln der Glieder.

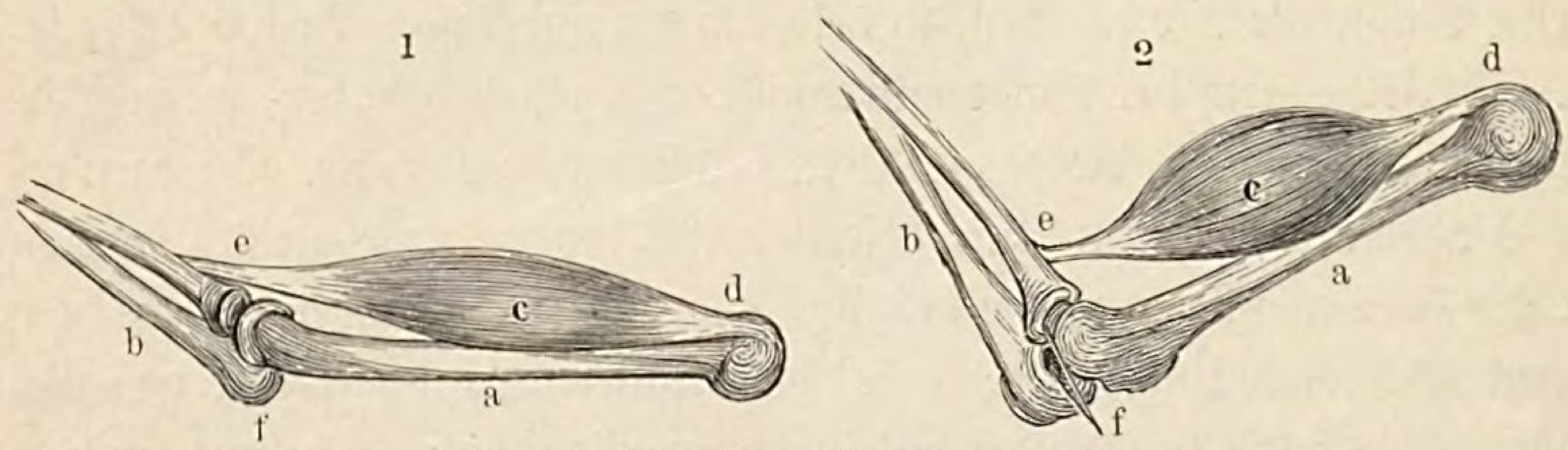
Die Befestigung der an ihren beiden Enden mit Knochen in Verbindung stehenden Muskeln ist eine solche, daß der Muskel zwischen Ursprung und Ansatz wenigstens über ein Gelenk, meist aber über zwei oder mehrere Gelenke hinläuft. Diese Einrichtung bedingt es, daß durch die Thätigkeit der Muskeln die Knochen des Skelets als Hebel, deren Unterstützungspunkt in den Gelenken liegt, bewegt werden.

Die Mathematik definiert bekanntlich den Hebel als „eine gerade, unbiegsame Linie, welche um einen festen Punkt, den Unterstützungspunkt oder Drehpunkt, drehbar ist". In der praktischen Ausführung steht an Stelle der Linie ein fester Stab. Findet sich der Unterstützungspunkt an einer zwischen den beiden Endpunkten des Hebels befindlichen Stelle im Verlauf des letzteren, so daß nach zwei Seiten vom Drehpunkt der Hebel über denselben hinausragt, so haben wir einen zweiarmigen Hebel vor uns, als dessen bekanntestes praktisches Beispiel die Wage dient. Die Teile des Hebels seitlich vom Drehpunkt sind die Hebelarme. Liegt der Drehpunkt des Hebels an einem seiner beiden Enden, so wird ein solcher Hebel als einarmiger Hebel bezeichnet. Für die Bewegung eines mechanisch ausgeführten Hebels kommen zwei Kräfte in Wirkung, welche den Hebel nach entgegengesetzten Seiten um den Drehpunkt zu drehen streben. Denken wir uns eine gewöhnliche Wage, deren eine Wagschale wir belasten, so hebt sich der unbelastete Arm des Wagebalkens, der belastete sinkt. Derselbe Arm der Wage würde sich auch gehoben haben, wenn seine Wagschale mit einem geringeren Gewicht als die des anderen belastet worden wäre. Dagegen erfolgt keine Bewegung des Wagebalkens, wenn seine beiden gleich langen und gleich schweren Arme, an deren Enden die Wagschalen und Gewichte befestigt sind, mit gleich schweren Gewichten belastet wurden. Ist die eine Wagschale unbelastet, so hat die belastete Wagschale nur das Gewicht des unbelasteten Wagebalkens selbst mit der daranhängenden Wagschale zu heben; immerhin findet aber also doch die Hebung eines Gewichtes statt, auch wenn die Wagschale nicht belastet ist. Sind, wie bei der gewöhnlichen Wage, beide Hebelarme gleich lang (und gleich schwer), so tritt keine Bewegung des Hebels ein, wenn auf beide Hebelarme gleich schwere Gewichte wirken. Wir können an Stelle des Gewichtes, welches an dem einen Wagebalken mit der Kraft seiner Schwere wirkt, auch irgend eine andere Kraftwirkung setzen, wir können z. B. in senkrechter Richtung mit unserer Hand den unbelasteten Wagebalken nach abwärts ziehen; halten wir mit unserer Muskelkraft dann genau dem Gewicht des anderen Wagebalkens das Gleichgewicht, so ist die Kraftsumme, welche wir wirksam ausüben, der Wirkung der Schwerkraft gleich, welche als Gewicht an dem belasteten Hebelarme wirkt.

Anders wird das Verhältnis, wenn die beiden Hebelarme ungleich lang sind, d. h. wenn die Angriffspunkte der beiden Kräfte am Hebel, welche diesen nach entgegengesetzten Seiten zu drehen streben, verschieden weit vom Drehpunkt abstehen. Es ergibt sich dann, daß das gleich schwere Gewicht um so stärker wirkt, je weiter vom Drehpunkt entfernt es angreift. Hierfür ist die gebräuchliche Schnellwage mit einem kurzen und einem langen Arme das bekannteste praktische Beispiel; die Physik lehrt: die zwei Gewichte (oder Kräfte) halten sich am Hebel dann das Gleichgewicht, wenn sie der Länge des entsprechenden Hebelarmes umgekehrt proportional sind. Man findet sonach die Stärke der Wirkung eines Gewichtes, sein statisches Moment, am Hebel, wenn man das am Hebel wirkende Gewicht mit der Länge des Hebelarmes multipliziert. Ist der eine Hebelarm doppelt so lang als der andere, und es ist an dem Ende des kürzeren Hebelarmes ein Gewicht von 2 kg befestigt, so genügt ein Gewicht von 1 kg am Ende des anderen Hebelarmes, um jenem das Gleichgewicht zu halten. Nehmen wir das Gewicht von 2 kg an dem kürzeren Hebelarm weg und ersetzen dasselbe durch einen senkrecht nach abwärts durch unsere Hand ausgeübten Muskelzug oder Druck, so müssen wir, um dem Gewicht oder der Last von 1 kg am Ende des anderen Hebelarmes das Gleichgewicht zu halten, eine Summe von Muskelkraft aufwenden,

welche der Schwerewirkung von 2 kg gleich ist. Indem man sich in der angegebenen Weise an dem einen Hebelarm die Wirkung eines Gewichtes durch anderweitige Zugkräfte ersetzt denkt, unterscheidet man einen Hebelarm der Last und einen Hebelarm der Kraft.

Die Verhältnisse ändern sich im Prinzip nicht, wenn der Unterstützungs- oder Drehpunkt des Hebels an einem seiner Enden sich befindet, so daß die beiden Kräfte, welche den Hebel nach verschiedenen Seiten zu bewegen streben, nicht, wie bei dem zweiarmigen Hebel, auf zwei entgegengesetzten Seiten vom Drehpunkt, sondern auf der gleichen Seite von diesem, aber nach verschiedenen Richtungen wirkend, der eine aufwärts, der andere abwärts ziehend, angreifen; wir haben dann nach dem Sprachgebrauch der Physik einen einarmigen Hebel vor uns. Auch hier wirkt das gleiche Gewicht, die gleiche Kraftsumme um so stärker, je weiter vom Drehpunkt entfernt der Angriffspunkt sich befindet. Ein sehr bekanntes Beispiel bietet der allgemein bekannte Hebelventilverschluß mancher Kochtöpfe. Der Dampf, welcher das Ventil zu heben und damit den Hebel nach aufwärts zu bewegen strebt, drückt auf den einarmigen Hebel an einer Stelle nahe dem Drehpunkt, während das Gewicht, welches dieser hebenden Wirkung durch einen Zug nach abwärts entgegenstrebt, an dem vom Drehpunkt entferntesten Teile des Hebels angebracht ist. Da das Gewicht aber an einem längeren Hebelarm wirkt als die aufwärts treibende Gewalt des Dampfes am Ventil, so genügt eine entsprechend geringere Summe von Kraft, respektive Gewicht zur Niederhaltung des Ventiles, als jene beträgt, welche das Ventil zu heben bestrebt ist. Auch bei einarmigen Hebeln finden wir also der Theorie nach das statische Moment eines auf den Hebel in senkrechter Richtung als Zugkraft einwirkenden Gewichtes, wenn wir das Gewicht mit der Länge des Hebelarmes multiplizieren.

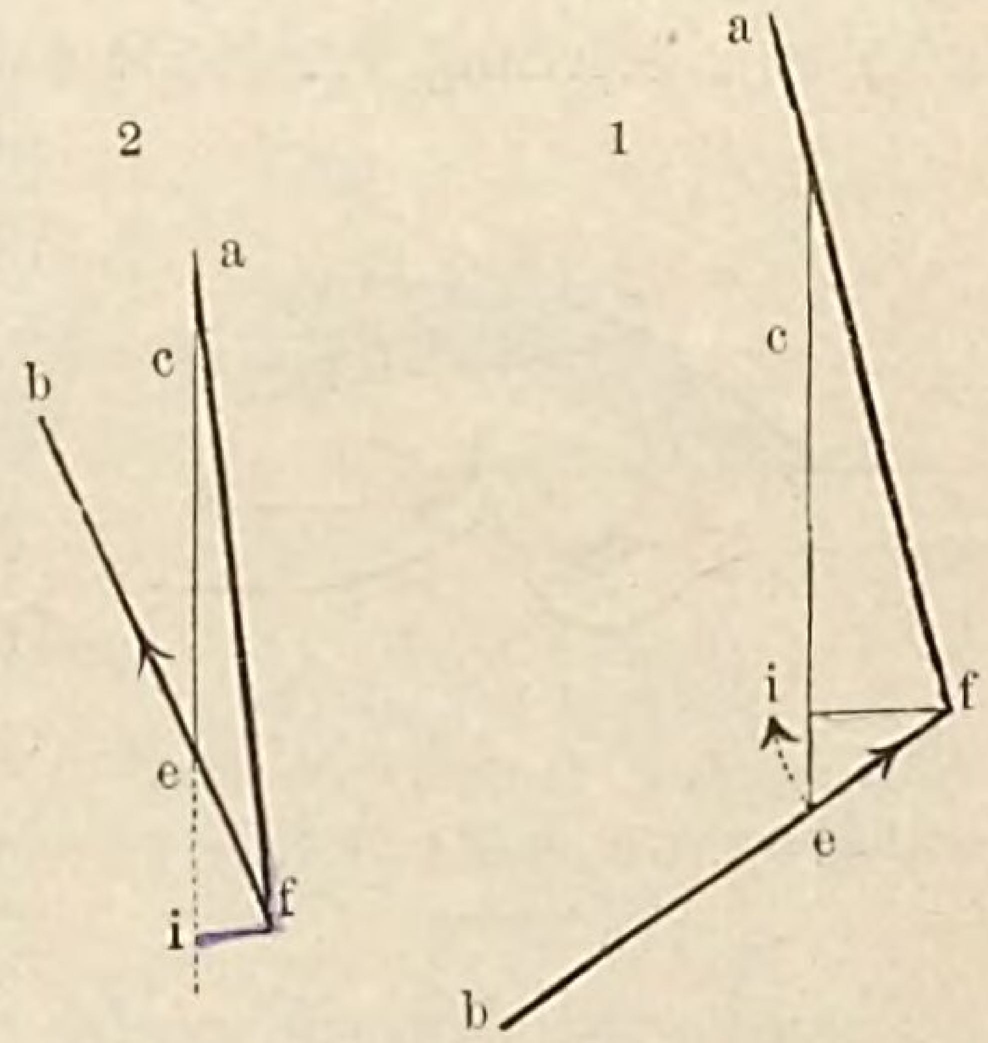


Hebelwirkung des Biceps, schematisch.
1) Unterarm gestreckt, Biceps schlaff, 2) gebeugt, Biceps kontrahiert. a) Oberarmbein, b) Vorderarmknochen, cde) Biceps [c dessen Muskelbauch, d Ursprung, schematisch, e Ansatzsehne], f) Drehpunkt des Unterarmes, fe) Hebelarm der Kraft.

Solche einarmige Hebel stellen, wie wir sogleich näher erläutern werden, die Skeletknochen bei den Bewegungen der Glieder durch die Muskeln vorzugsweise dar. Wenn wir z. B. den Vorderarm mit der Hand durch Muskelwirkung in einen geraden, unbiegsamen Stab verwandelt haben, so ist der Vorderarm ein einarmiger Hebel, dessen Drehpunkt im Ellbogengelenk liegt. Halten wir dabei mit der Hand ein Gewicht, so ist am Vorderende des Hebels der Angriffspunkt der Last, welche den Hebel im Drehpunkt nach abwärts zu ziehen strebt. Diesem Zuge nach abwärts kann durch die Muskelwirkung des Beugemuskels des Vorderarmes, des zweiköpfigen Oberarmmuskels (Musculus biceps), begegnet werden, welcher den Vorderarm im Ellbogengelenk durch seine Kontraktion nach aufwärts zu ziehen bestrebt ist (s. obenstehende Abbildungen). Der Angriffspunkt der Kraft des Muskels ist dem Ellbogengelenk relativ sehr nahe. Gehen wir von einer Grundstellung des Vorderarmes aus, in welcher derselbe annähernd rechtwinkelig zum Oberarm gebeugt ist, so wirkt nicht nur das den Hebel nach abwärts ziehende, in der Hand gehaltene Gewicht, die Last, in senkrechter Richtung nach abwärts, auch der zweiköpfige Oberarmmuskel wirkt der Last in (annähernd) senkrechter Richtung entgegen. Wir können dann, wenn sich Last und Kraft gerade das Gleichgewicht halten, das statische Moment der Last und das der Muskelkraft in derselben einfachen Weise berechnen, wie wir das bei einer Schnellwage thun; das statische Moment ist gleich dem Produkt der Last in die Länge des Hebelarmes, an der sie wirkt.

Da der Hebelarm, an welchem die in der Hand gehaltene Last angreift, etwa achtmal länger ist als der Hebelarm, an welchem in entgegengesetzter Richtung der Muskel zieht, so muß unter den vorausgesetzten günstigsten Verhältnissen, wenn der Muskel senkrecht am Knochenhebel angreift, um dem Zuge von 1 kg an der Hand das Gleichgewicht zu halten, eine Summe von Muskelkraft, welche 8 kg entspricht, aufgewendet werden.

Noch viel mehr Kraft der Muskelspannung erfordert die Bewegung einer Last an unserem Knochenhebel, wenn der Muskel nicht senkrecht, sondern schief an dem Hebel angreift. Bei den Bewegungen der Glieder, z. B. auch bei der Beugung des Vorderarmes gegen den Oberarm aus der gestreckten Stellung, scheint auf den ersten Blick der denkbar ungünstigste Fall gegeben, indem die Zugrichtung des zweiköpfigen Oberarmmuskels mit der Längenrichtung des Hebels zusammenzufallen scheint. Wäre das wirklich der Fall, so würde die Wirkung des Muskels lediglich in einer Anpressung des Vorderarmes gegen den Oberarm im Ellbogengelenk bestehen können, ohne Möglichkeit einer Stellungsveränderung. Aber auch, wenn die Zugkraft auf den Hebel in schiefer Richtung wirkt, kommt keineswegs die Gesamtsumme ihrer Wirkung für Stellungsveränderungen und eventuell für Hebung eines in der Hand gehaltenen Gewichtes zur Geltung.



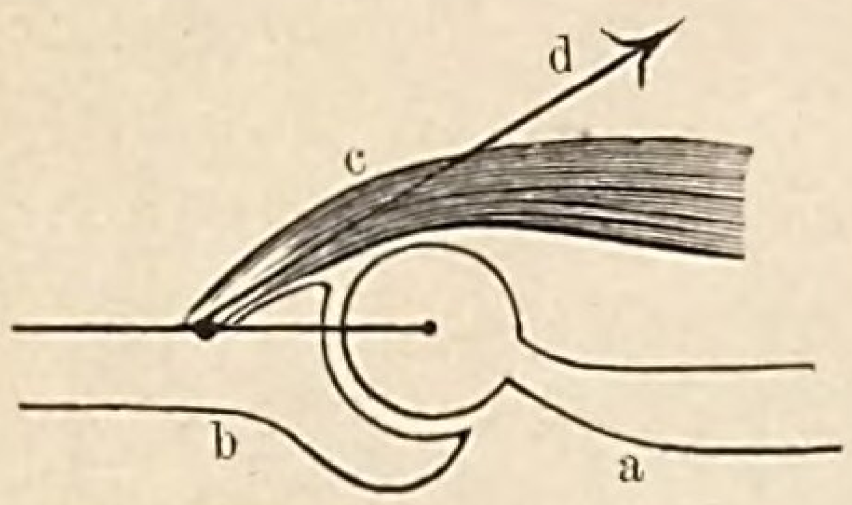
Schema der Hebelwirkung der Muskeln.

af) Oberarm, fb) Unterarm, e) Angriffspunkt des Muskels ce, if) Hebelarm des Muskels, in e) Zerlegung der Muskelwirkung in eine drehende und in eine in der Richtung der Unterarmachse wirkende Komponente; letztere in Fig. 1) andrückend, in Fig. 2) abziehend.

Nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte können wir die schief am Hebel angreifende Kraft in zwei Kräfte zerlegen, von denen die eine in der Richtung des Hebels wirkt, also keine Stellungsveränderungen desselben hervorbringen kann, während die andere senkrecht am Hebel angreift. Die in der Längsrichtung des Hebels angreifende Kraft wird offenbar durch den Widerstand im Drehpunkt vollkommen aufgehoben, und nur die senkrecht am Hebel angreifende Seitenkraft kommt für Stellungsveränderungen des Hebels und für eventuelle Hebung eines in entgegengesetzter Richtung angreifenden Gewichtes zur Geltung. Mechanisch kommt es sonach, da die schief angreifende Kraft schwächer wirkt, ganz auf das Gleiche hinaus, ob eine bestimmte Kraftsumme schief an einem Hebel von bestimmter Länge angreift, oder ob die gleiche Kraft senkrecht an einem entsprechend kürzeren Hebelarm wirksam wird. In beiden Fällen ergibt sich die gleiche Verringerung des statischen Moments der betreffenden Kraft. Wir können die Länge des Hebelarmes, an welchem ein Muskel am Skelet angreift, und die Richtung der Kraft, d. h. die Richtung, in welcher der Muskel am Knochenhebel angreift, durch Beobachtung feststellen und aus diesen Daten dann die Summe der Kraft bestimmen, welche von dem betreffenden Muskel in einem bestimmten Falle ausgeübt wird. Durch geometrische Konstruktion ist nämlich die Länge des kürzeren Hebelarmes leicht zu bestimmen, an welchem die betreffende Kraft, senkrecht angreifend, die gleiche Wirkung hervorbringen würde wie bei ihrem Angreifen an dem längeren Hebelarm in schiefer Richtung. Die Länge des kürzeren Hebelarmes ist gleich der Länge einer senkrecht vom Drehpunkt auf die Richtung der Kraft gefällten Linie. Das statische Moment einer schräg angreifenden Kraft findet man also, indem man die Kraft multipliziert mit dem vom Drehpunkt auf die Richtung der Kraft gefällten Perpendikel (s. Abbildungen, S. 450 und 451).

Auf diese Weise ist es für den Forscher ermöglicht, das statische Moment eines Muskels bei Bewegung des Skelets zu bestimmen. Schon nach Abbildungen des Muskelverlaufes am Skelet kann man sich leicht eine Vorstellung von der Zugrichtung des Muskels auch bei verschiedenen

Stellungen der Knochen in den Gelenken machen, welche den verschiedenen Grad der Wirkung eines Muskels wenigstens annähernd berechnen lassen. Aber hier liegt eine Möglichkeit der gröbsten Täuschungen. Betrachten wir den Verlauf des zweiköpfigen Armmuskels, des Vorderarmbeugers, bei gestrecktem Vorderarm, so erscheint es nach Abbildungen (s. S. 450), als greife der Muskel, wenn auch nicht vollkommen, doch nahezu in der Richtung des Knochenhebels selbst an, so daß seine Wirkung in Beziehung auf Stellungsveränderungen des Knochens fast gleich Null sein müßte. Seine Zusammenziehung scheint danach bei gestrecktem Vorderarm nur ein Zusammenpressen der betreffenden Gelenkenden des Oberarmes und der Vorderarmknochen im Ellbogengelenk hervorbringen zu können. Das ist aber nicht richtig. Für die Wirkungsweise einer Zugkraft, wie sie der Muskel darstellt, ist, wie uns die Mechanik beweist, lediglich die Anfangsrichtung derselben für die Bewegung des Hebels von Bedeutung. Läuft aber bei einem Hebel, wie er in der Technik zur Verwendung kommt, z. B. bei einem Flaschenzug, das die Zugkraft darstellende Seil über eine passend angebrachte Rolle, so kommt, wie uns die Anschauung lehrt, für die Zugrichtung des sonst irgendwie und in beliebiger Richtung, wenn sie nur noch eine Wirkung der Rolle zuläßt, angespannten Seiles doch nur jener Abschnitt in Betracht, welcher von der Rolle zum Hebel verläuft. Solche Rollen, wie sie die Technik tausendfach verwendet, sind nun auch fast ausnahmslos für die Verbesserung der Zugrichtung der Muskeln im Menschenkörper da in Anwendung gebracht, wo die Lage des Muskelbauches, wie namentlich bei den Extremitäten, um anderen Funktionsbedingungen vollkommen genügen zu können, eine für die Zugwirkung ungünstige ist. In diesem Sinne wirkt zunächst die Anschwellung der Gelenkenden, über welche die Muskeln und Muskelsehnen vor ihrem Ansatze hinlaufen, und von denen sie in günstigerem Angriffswinkel gegen den zu bewegenden Knochenhebel herabsteigen (s. nebenstehende Abbildung); aber außerdem noch und nicht weniger ausgesprochen wirken im gleichen Sinne die senkrecht oder schief gegen den allgemeinen Verlauf des Knochenhebels von diesem sich mehr oder weniger hoch erhebenden Knochenvorsprünge, etwa wie die Rollhügel am Oberschenkelbeine, an welchen der Muskelansatz, namentlich an den Extremitätenknochen, vielfach stattfindet, die auch einen wirklich parallel zur Hebelrichtung angebrachten Muskelzug in seinem Endverlauf in einen für die Bewegung günstigen umwandeln könnten. Die Knochen werden dadurch zu **Winkelhebeln**, als dessen bestes Beispiel der **Unterkiefer** dienen kann. Daß manche Muskelsehnen geradezu über Knochenrollen hingehen, haben wir schon erwähnt; ebenso wirkt es, wenn ein Muskel, wie z. B. der Schneidermuskel am Oberschenkel, sich vor seinem Ansatz über dicke Muskelbäuche anderer Muskeln herumwindet. Immerhin haben wir zu beachten, daß ein Teil der Muskelwirkung auch für die Zusammenhaltung der im Gelenk aneinander hingleitenden Knochen erforderlich ist, um sie vor einem Auseinanderweichen zu schützen, eine Aufgabe, welcher z. B. an dem Schultergelenk des Oberarmes eine Anzahl von Muskeln vorzugsweise dient; dieselbe Wirkung kann aber auch zum Teil von den der Gelenkbewegung direkt vorstehenden Muskeln infolge ihrer schrägen Angriffsrichtung ausgeübt werden. Sind bei den normalen Gelenkbewegungen der Extremitäten die Knochen einmal etwas gegeneinander gebeugt, so wird ein um so größerer Kraftbruchteil des Muskels lediglich zu Stellungsveränderung der Knochen im Gelenk Verwendung finden (s. Abbildungen, S. 450 und 451).



Ansatzwinkel des Biceps.
a) Oberarmbein, b) Unterarmknochen, c) Bicepsansatz, d) wahre Zugrichtung desselben.

Unsere bisherigen Erfahrungen über den Bau des Knochengerüstes und seiner Gelenke gestatten uns schon, auf Beispiele dieser verschiedenen Hebelbewegungen der Knochen gegeneinander hinzuweisen. Im allgemeinen kommen **zweiarmige Hebel** bei unseren Skeletbewegungen viel

seltener vor als einarmige. Ein gutes Beispiel eines zweiarmigen Hebels ist der Kopf, welcher auf dem Atlas als seinem Drehpunkt nach vorn und nach hinten geneigt werden kann. Ebenso kann das Becken (mit dem Rumpfe) auf seinen beiden Drehpunkten, welche die Köpfe der Oberschenkelknochen darstellen, oder auf einem derselben beim Stehen auf einem Beine nach vorwärts und rückwärts geneigt werden. Heben wir den Fuß vom Boden ab, so kann auch der ganze Fuß als Hebel mit der Drehungsachse im Fußgelenk nach vorwärts und rückwärts gebeugt oder gestreckt werden, so daß einmal die Zehen nach abwärts, die Ferse nach aufwärts, oder die Ferse nach abwärts und die Zehen nach aufwärts gezogen werden. Die einarmigen Hebel sind bei den Skeletbewegungen so häufig, daß wir hier nur auf einzelne hinweisen wollen. Wird, wie bei dem langsamen Exerzierschritt, der Oberschenkel mit gestrecktem Unterschenkel und Fuß gegen die Bauchfläche mehr oder weniger erhoben, gebeugt, so bildet das Bein einen einarmigen Hebel mit dem Drehpunkt im Hüftgelenk, welcher durch das Gewicht des Beines nach abwärts, dagegen durch Muskelwirkung nach aufwärts gezogen wird; ähnlich ist unser schon oben angezogenes Beispiel, wenn wir den Unterarm gegen den Oberarm beugen, der Unterarm bildet den einarmigen Hebel mit dem Drehpunkt im Ellbogengelenk. Das Gewicht des Unterarmes selbst oder mit ihm ein in der Hand gefaßtes Gewicht zieht den Hebel nach abwärts, während in entgegengesetzter Richtung die Beuger des Unterarmes thätig sind. Übrigens kann ein und derselbe Körperteil bald als zweiarmiger, bald als einarmiger Hebel Verwendung finden, und der Drehpunkt des Hebels und damit der Angriffspunkt der Last und der Zugkraft kann von dem einen zum anderen Ende des Knochens verlegt werden. Als Beispiel dafür wählen wir wieder den Fuß, der bei der Erhebung des Körpers auf die Zehen als einarmiger Hebel wirkt. Der Drehpunkt liegt dann dort, wo die Zehen auf dem Boden aufruhen; an dem anderen Ende des einarmigen Hebels, an der Ferse, wirkt die Zugkraft durch die Wadenmuskeln, während die Last, welche der Hebel bewegt, unser auf dem Fußgelenk lastender Körper, zwischen Angriffspunkt der Zugkraft und Drehpunkt angreift, wie bei dem oben gegebenen Beispiel des Hebelventilverschlusses. Setzen wir den Fuß mit der Ferse auf den Boden und erheben den Fuß so, daß die Ferse, auf dem Boden fest bleibend, als Drehpunkt des Fußes wirkt, so ist die Hebelwirkung des Fußes wieder eine andere.

Nach den hundertfach verschiedenen Ursprüngen und Ansätzen der Muskeln modifizieren sich die Skeletbewegungen in der mannigfaltigsten Weise. Zu der staunenerweckenden Fülle möglicher Bewegungen trägt wesentlich noch bei, daß die Muskelindividuen entweder allein oder zu Gruppen vereinigt wirken können.

Muskeln, welche sich gegenseitig in ihrer Wirkung unterstützen, nennt man Genossen oder Synergisten; solche, welche gegenseitig ihre Wirkung aufheben, so daß bei ihrer gleichzeitigen Spannung keine Gelenkbewegung eintritt, wie wir das z. B. durch gleichzeitige Anspannung aller Armmuskeln, der Strecker und Beuger, uns anschaulich machen können, heißen Gegner oder Antagonisten. Die Muskelwirkung erreicht aber dadurch den höchsten Grad der Mannigfaltigkeit ihrer Leistungen, daß die Fleischbündel, welche von der Anatomie als Muskelindividuen gesondert und einzeln bezeichnet werden, keineswegs funktionelle, physiologische Einheiten darstellen. Die Fasern eines anatomisch als Individuum bezeichneten Muskels werden keineswegs immer gleichzeitig und gleichstark in Erregung versetzt. Die zahlreichen in jeden Muskel eintretenden Nervenfasern ermöglichen es, daß sich die einzelnen Muskelfaserbündel, aus denen der Muskel zusammengesetzt ist, unabhängig voneinander zusammenziehen. Zur Drehung um eine bestimmte Achse wirken alle jene Muskelfasern, welche ein positives Moment für die Drehung des Knochens in dem geforderten Sinne besitzen, zusammen, ohne Rücksicht darauf, ob sie zu Muskeln gehören, welche ihrer Gesamtzugrichtung nach Gegner oder Genossen sind.

Elastizität und Kontraktilität der Muskeln.

Die Grundbedingungen, auf welchen, abgesehen von den Einrichtungen des Knochengerüstes, die mechanischen Leistungen der Muskeln beruhen, sind die aktive Beweglichkeit der Muskelsubstanz, ihre **Kontraktilität**, und ihre passive Beweglichkeit, ihre **Elastizität**.

Da die Knochen fast allseitig von Muskeln umgeben sind, so würden, vorausgesetzt, die Muskeln wären im ruhenden Zustande nicht dehnbar, keine Bewegungen möglich sein. In Wirklichkeit passen sich, wenn einer aus der Zahl der das Gelenk umlagernden Muskeln thätig wird und seine Gestalt und dadurch die Stellung auch der übrigen Muskeln zum Gelenk verändert, die letzteren den veränderten Lagerungsbedingungen dadurch an, daß sie sich entsprechend **dehnen**. Um ein Beispiel zu geben, erinnern wir an die Strecker und Beuger des Vorderarmes, von welchen die letzteren auf der Vorderseite, die ersteren auf der Rückseite des Oberarmes zu den Knochen des Vorderarmes unter dem Ellbogengelenk verlaufen. Ziehen sich die als Genossen wirkenden Unterarmbeuger, unter welchen der bekannte zweiköpfige Oberarmmuskel der mächtigste ist, zusammen, so ziehen sie den am Ellbogenhöcker sich ansetzenden Strecker des Unterarmes, ihren Antagonisten, nach abwärts und verlängern ihn damit entsprechend, was nur durch seine Dehnbarkeit ermöglicht ist.

Die Muskeln sind aber nicht nur sehr dehnbar, sondern auch in **hohem Grade elastisch**; hört der dehnende Zug auf zu wirken, so kehren sie rasch und vollkommen in ihre dem ungedehnten Zustande zugehörige Gestalt zurück. Das eben benutzte Beispiel lehrt uns, daß die Elastizität der Muskeln für den Organismus eine bedeutende Arbeitsersparnis bedingt. Bei der aktiven Zusammenziehung der Synergisten werden, wie in unserem Beispiel der Vorderarmbewegungen, fast ausnahmslos die Antagonisten gedehnt. Die Folge davon ist es, daß die Rückführung der bewegten Knochen in ihre Ruhelage der Elastizität der passiv gedehnten Muskeln wegen keinen aktiven Kraftaufwand erfordert; es genügt, häufig noch unter Mitwirkung der Schwere auf den betreffenden Körperteil, die elastische Wirkung der gedehnten Muskeln, welche sie zwingt, ihre natürliche Länge wieder einzunehmen, sobald der dehnende Zug aufgehört hat. In Beziehung auf Dehnung und Rückkehr zur natürlichen Länge verhält sich der Muskel wie ein Kautschuk- oder Gummiband oder ein Seidenfaden. Ein Zug, z. B. durch ein angehängtes Gewicht ausgeübt, dehnt den Muskel sehr rasch bedeutend aus; aber erst nach und nach nimmt er die volle Verlängerung an, die der wirkenden Zugkraft entspricht. Die letztere erzeugt also eine bedeutende, rasch eintretende Anfangsdehnung und eine langsam sich vollendende Schlußdehnung. Läßt der dehnende Zug nach, so geschieht die elastische Verkürzung, dem eben geschilderten Vorgang der Dehnung entsprechend, der Hauptsache nach fast momentan; aber erst nach und nach wird die vor der Dehnung bestandene kleinste Länge wieder erreicht, so daß man sonach auch eine rasch verlaufende elastische Anfangs- und eine allmählich verlaufende Schlußverkürzung zu unterscheiden hat. Ein gleiches Gewicht bringt eine um so geringere Dehnung des Muskels hervor, je mehr der Muskel bereits gedehnt ist. Endlich erreicht seine Dehnbarkeit ihr Maximum, über welches hinaus der Muskel starr und undehnbar erscheint und endlich durch übermäßig gesteigerten Zug zerreißt. Es ist sehr beachtenswert, daß der kontrahierte, aktiv verkürzte, Muskel weniger elastisch, aber stärker dehnbar ist als der ruhende. Wir werden die Ursache dafür in inneren mechanisch-chemischen Umänderungen erkennen, welche der Muskel, während er thätig ist, erleidet.

Die Natur macht von der elastischen Dehnbarkeit der Muskeln noch in anderer Richtung ausgedehnten Gebrauch und zwar wesentlich zur Arbeitsersparung bei dem Übergang des Muskels aus dem ruhenden, längeren in den thätigen, verkürzten Zustand. Nach den Erfahrungen der Chirurgen sind die Muskeln im lebenden Menschenkörper so an ihren Knochen befestigt, daß sie

dabei etwas über ihre dem Ruhezustand zukommende natürliche Länge gedehnt sind. Ist es z. B. bei chirurgischer Absetzung von Teilen der Extremitäten notwendig, die lebenden Muskeln zu durchschneiden, so ziehen sich ihre durch den Schnitt getrennten Abschnitte zurück, so daß die Muskelwunden klaffen; trennt man bei solchen Operationen die Muskeln bei einem Lebenden von ihren Ansätzen ab, so schnellen sie zurück. Die Muskeln sind also auch in der Ruhe nicht schlaff; verkürzen sie sich, so geht keine Zeit und Kraft für die Anspannung des Muskels verloren.

Das Eigenleben des Muskels zeigt sich in der überraschendsten Weise in seiner Kontraktilität, in der Fähigkeit, unter der Einwirkung des Nervensystems oder direkter als Muskelreize bekannter Anstöße seine dem Ruhezustand zukommende Gestalt rasch und energisch in der Art zu verändern, daß er kürzer und dicker wird, wobei er sein Volumen nicht oder jedenfalls nur minimal verringert. Schon die mikroskopischen Untersuchungen von Ed. Weber haben ergeben, daß während der Kontraktion die quergestreiften Muskelfasern eine deutlichere und schärfere Querstreifung zeigen, und daß die Querstreifen näher aneinander rücken; die doppelbrechenden Schichten der Muskelsubstanz erscheinen dabei im Längendurchmesser verschmälert, die anderen nach Engelmann, vielleicht durch Wasseraufnahme, annähernd entsprechend verbreitert. Jeder Muskel ist sehr verschiedener Grade der Verkürzung fähig bis zu einem individuell verschiedenen Verkürzungsmaximum, welches zwischen 65 und 83 Prozent der Länge des ruhenden Muskels schwanken kann; im höchsten Falle verkürzt sich sonach der Muskel etwa um fünf Sechstel seiner ihm im ruhenden Zustand zukommenden Länge. Mit anderen Worten, der verkürzte Muskel zeigt, wenn er das Maximum seiner möglichen aktiven Verkürzung erreicht hat, nur noch ein Sechstel der Länge des ruhenden Muskels und ist dafür entsprechend dicker geworden. Spindelförmige Muskelbäuche nähern sich im aktiv verkürzten Zustande der kugeligen Form an. Die Muskelsehnen beteiligen sich an dieser aktiven Kontraktion gar nicht. Im lebenden Organismus sind übrigens die Skeletmuskeln so an den Knochen befestigt, daß sie bei der von ihnen verursachten Stellungsveränderung der Glieder niemals auch nur annähernd das Maximum ihrer Verkürzung erreichen können. Die Muskeln der Glieder z. B. sind überall so nahe an dem Drehpunkt ihrer Knochenhebel angeheftet, daß sie schon durch eine relativ geringe Verkürzung das Maximum der im Gelenk möglichen Stellungsveränderungen herbeiführen, über welche hinaus die verschiedenartigen, oben ausführlich beschriebenen Hemmungseinrichtungen der Gelenkbewegungen am Skelet jede weitere Stellungsveränderung der betreffenden Knochen gegeneinander verbieten.

Während der Verkürzung, d. h. während der Muskel aus dem ruhenden, verlängerten in den thätigen, verkürzten Zustand übergeht, leistet er im mechanischen Sinne Arbeit, er hebt ein Gewicht von bestimmter Schwere auf eine gewisse Höhe. Die Muskeln kaltblütiger Tiere, namentlich die Muskeln der Frösche, welche der Muskelphysiker zu seinen subtilen Untersuchungen vorzüglich benutzt, behalten, auch aus dem Verband des übrigen frisch geschlachteten Organismus getrennt, unter günstigen Aufbewahrungsbedingungen noch lange Zeit ihre Lebenseigenschaften. Dasselbe gilt von den Nerven der Frösche. Denken wir uns einen spindelförmigen Froschmuskel ausgeschnitten, an dem einen Ende aufgehängt, an einem geeigneten Träger befestigt, an dem anderen mit einem Gewicht belastet, so hebt er durch seine aktive Verkürzung das Gewicht in die Höhe. Die dabei geleistete Arbeit finden wir, wenn wir das gehobene Gewicht mit der Höhe multiplizieren, bis zu welcher es gehoben wurde. Bezeichnen wir das gehobene Gewicht mit p, die Höhe, bis zu welcher es gehoben wurde, mit h, so ist die geleistete mechanische Arbeit gleich dem gehobenen Gewicht p mal der Hubhöhe h, d. h. p mal h. Auch der unbelastete Muskel leistet bei seiner Verkürzung Arbeit, welche unter den gegebenen Umständen in dem Heben seines eigenen Gewichtes besteht. Da aber nur die unteren Muskelpartien gehoben werden, so kann man die von dem unbelasteten Muskel geleistete Arbeit annähernd als die Hebung seines eigenen

Gewichtes bis zur halben Hubhöhe bestimmen. Ganz ähnlich ist das Verhältnis, wenn im lebenden Körper Muskelarbeit geleistet wird, wenn z. B. der Beugemuskel des Vorderarmes den letzteren hebt, oder noch mehr, wenn ein Turner die Last seines Körpers am Reck durch Beugung im Ellbogengelenk in die Höhe zieht.

Die Erscheinung der aktiven Zusammenziehung der Muskeln ist eine sehr verschiedene, je nachdem die Zusammenziehung lang oder kurz anhält. Ein rasch wieder verschwindender „einfacher Muskelreiz", z. B. vom Nerven aus, bringt bei den quergestreiften Skeletmuskeln eine fast momentan auftretende und ebenso rasch wieder verschwindende Zusammenziehung, d. h. eine „einfache Muskelzuckung", hervor. Trifft den infolge eines Reizes schon zusammengezogenen Muskel ein neuer Reiz, ehe er Zeit und Gelegenheit gefunden hat, sich wieder zu verlängern, so bleibt die Verkürzung länger bestehen, und eine Reihe rasch aufeinander folgender Reize versetzt den Muskel in den Zustand des Starrkrampfes oder Tetanus, der, wenn nicht vorher volle Ermüdung des Muskels eingetreten ist, andauert, solange die Reize wirken. Dabei kontrahiert sich der Muskel unter der Einwirkung einander entsprechend rasch folgender Reize stärker als bei der einfachen Zuckung, die Form des im Starrkrampf „tetanisch" zusammengezogenen Muskels unterscheidet sich von der Form des einfach zuckenden Muskels durch größere Dicken- und geringere Längenausdehnung. Durch die subtilsten Untersuchungen hat sich feststellen lassen, daß der Tetanus als eine Summe von Einzelzuckungen zu betrachten ist, wobei der neue Reiz den schon verkürzten Muskel noch weiter verkürzt. Um einen Muskel in Starrkrampf zu versetzen, müssen etwa 20 Reize in der Sekunde auf ihn einwirken; je nach dem Grade seiner Erregbarkeit genügen aber schon 10 oder erst 30 Reize in der gleichen Zeit.

Die rasch, beinahe blitzschnell vorübergehenden „einfachen Muskelzuckungen" sind nicht imstande, die Muskelleistungen unseres Körpers, mittels deren er z. B. Lasten hebt und sich selbst in gemessenem Schritte vorwärts bewegt, hervorzubringen; dazu verwenden wir stets nur „tetanische", längere Zeit anhaltende Muskelzusammenziehungen. Nur der tetanisch kontrahierte Muskel kann ein Gewicht dauernd auf einer bestimmten Höhe halten, wie es für unsere zweckbewußten Muskelleistungen so vielfach notwendig ist. Doch kommen in einzelnen Fällen, z. B. beim Sprechen oder bei dem Nicken unserer Augenlider, so rasch vorübergehende Muskelkontraktionen zur Verwendung, daß wir diese annähernd mit dem Verlauf einer „einfachen Zuckung" vergleichen können (s. oben). Die Zahl der Reize, welche im lebenden gesunden Organismus, vom Zentralnervensystem ausgehend, willkürlich eine tetanische Zusammenziehung eines Skeletmuskels hervorrufen, hat man zu 19,5 in der Sekunde bestimmt. Der Muskel macht nämlich in der tetanischen Kontraktion rasch aufeinander folgende Schwingungen, welche unser Ohr als einen tiefen musikalischen Ton, Muskelton, aufzufassen vermag. Man hört diesen Muskelton am einfachsten an seinen eigenen Kaumuskeln, wenn man sich in stiller Nacht die Ohren verstopft hat und nun die Kaumuskeln tetanisch zusammenzieht. Helmholtz bestimmte die musikalische Tonhöhe dieses Muskeltones zu 19,5 Schwingungen in der Sekunde; damit ist bewiesen, daß vom Nervensystem aus die gleiche Anzahl von Nervenanstößen oder Reizen in der Sekunde den Muskel trifft. An ausgeschnittenen Froschmuskeln kann man die Schwingungen des tetanisch kontrahierten Muskels telephonisch oder dadurch objektiv anschaulich machen, daß man sie auf eine mitschwingende, ihre Schwingungen aufschreibende Feder überträgt.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Zusammenziehung der quergestreiften Muskeln im lebenden menschlichen Organismus verlaufen können, ist eine sehr bedeutende. Die Erfolge eines Willensantriebes erfolgen oft so rasch, daß man sie als blitzschnell zu bezeichnen pflegt. Immerhin ist die Geschwindigkeit der Muskelzusammenziehung trotz ihrer relativen Raschheit mit der Bewegungsgeschwindigkeit eines elektrischen Stromes in keiner Weise zu vergleichen, das

Verhältnis der Geschwindigkeit zwischen beiden Bewegungen ist wie 1:500 Millionen. Daher gelang es auch Helmholtz, nicht nur die Geschwindigkeit des Verlaufes einer Muskelzuckung zu messen, sondern die Muskelzuckung selbst in ihre einzelnen wohlcharakterisierten Phasen zu zerlegen.

Um diese Beobachtungen von Helmholtz leichter zu überblicken, erinnern wir uns daran, daß wir in der allgemeinen Übersicht über die Organe und mikroskopischen Organbestandteile des menschlichen Organismus sowie bei Besprechung der Muskulatur der Eingeweide und Blutgefäße und an anderen Orten darauf hingewiesen haben, daß wir mikroskopisch zweierlei verschiedene Arten von mikroskopischen Muskelfasern zu unterscheiden haben, welche wir als organische und animale Muskeln bezeichneten. Die mikroskopischen Elemente der ersteren stellen spindelförmige, kernhaltige Zellen dar, in den genannten Organen von mikroskopischer Kleinheit; ihr Inhalt ist im allgemeinen homogen, wonach man den organischen Muskelfasern auch den Namen der glatten Muskelfasern beigelegt hat. Solche Fasern sind es, welche die Muskelhäute des Verdauungsrohres sowie der Blutgefäße bilden. Dagegen zeigen die animalen Muskelfasern, wie uns bekannt, den ganz abweichenden Bau von langen Schläuchen, gefüllt mit kontraktilem Protoplasma, dessen quergestreiftes mikroskopisches Aussehen ihnen den Namen quergestreifte Muskelfasern eingetragen hat. Alle Skeletmuskeln gehören zu dieser letzteren Gruppe, ebenso der Herzmuskel, die Schlundmuskeln und andere. Da die Skeletmuskeln dem Willen gehorchen, so spricht man wohl auch von den quergestreiften Muskelfasern als den mikroskopischen Elementen der „willkürlichen" Muskeln, während man die glatten oder organischen Muskelfasern auch als „unwillkürliche" Muskeln benennt. Doch sind die quergestreiften Herz- und Schlundmuskelfasern dem Willen so gut wie ganz entzogen, und es können Übergangsformen zwischen beiden Muskelfasergattungen nachgewiesen werden.

Die glatten Muskelfasern werden, wie die quergestreiften, durch Nervenreize und durch äußere Eingriffe, wie z. B. elektrische Schläge, in den thätigen Zustand versetzt, welcher bei beiden Muskelarten in Kontraktion, d. h. in Kürzer- und Dickerwerden, besteht. Aber die Geschwindigkeit, mit welcher sie auf normale Nervenreize und künstliche (z. B. elektrische) Reize durch eine Zusammenziehung antworten, ist eine wesentlich verschiedene. Läßt man einen die Muskeln zur Kontraktion erregenden Reiz auf quergestreifte Fasern einwirken, so scheint für das Auge des Beobachters der Erregungszustand des Muskels gleichzeitig mit dem Moment der Reizung einzutreten und in demselben Augenblick wieder zu verschwinden, in welchem der Reiz aufhört. Lassen wir dagegen einen rasch verschwindenden, z. B. elektrischen, Reiz auf glatte Muskeln einwirken, so vergeht nach der Einwirkung des Reizes und dessen Aufhören eine merkliche Zeit, welche wir, mit der Sekundenuhr in der Hand, messen können, ehe eine Wirkung des Reizes am Muskel, d. h. eine Verkürzung desselben, beginnt; die Kontraktion steigert sich dann allmählich bis zu einem Maximum und geht erst nach und nach wieder in die volle Erschlaffung zurück. Die Zeit, welche verstreicht, bis der auf den Muskel einwirkende Reiz eine sichtbare Verkürzung desselben hervorruft, die Zeit also, in welcher die Reizwirkung noch nicht zur Geltung kommt oder latent, d. h. verborgen, bleibt, wird als Stadium der „latenten Reizung" bezeichnet.

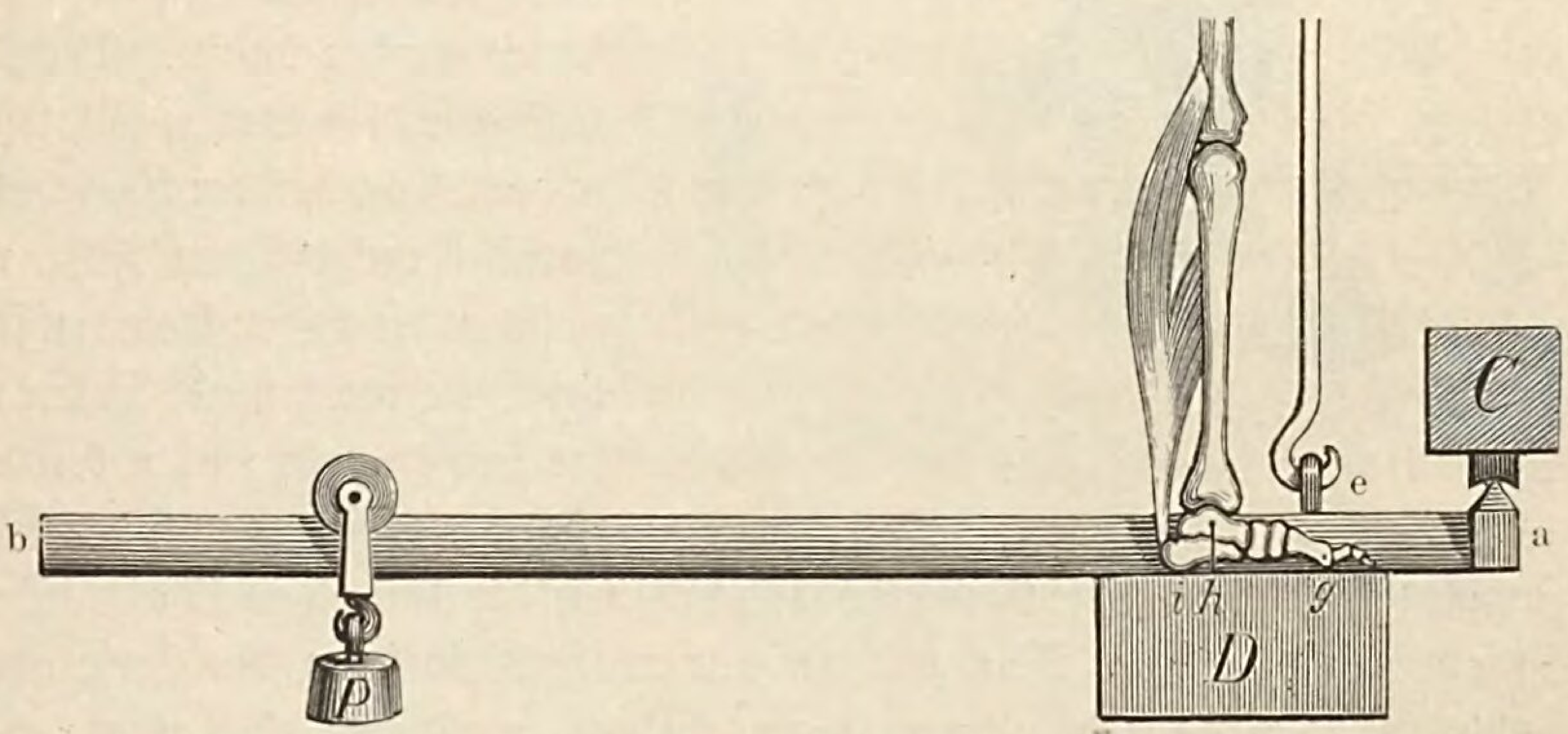
Helmholtz war nun im stande, indem er die Verkürzung quergestreifter Froschmuskeln sich auf dem Myographion, d. h. auf einem rasch rotierenden Cylinder mit bekannter Umdrehungsgeschwindigkeit, selbst aufschreiben ließ (und zwar mittels eines am freien Ende des ausgeschnittenen, senkrecht aufgehängten Muskels in passender Weise befestigten Stiftes, welcher an der berußten Oberfläche des Cylinders hinschleift), die Zusammenziehung der quergestreiften Fasern in die gleichen Phasen zu zerlegen, welche bei den glatten Muskeln schon lange bekannt waren. Auch bei dem quergestreiften Muskel bedarf es einer gewissen Zeit, ehe die Wirkung des Reizes auf den Muskel beginnt; dieses Stadium der „latenten Reizung" beträgt bei ihm aber nur ca. 1/100

Sekunde. Der Verlauf der Verkürzung selbst ist nicht gleichmäßig, sie erfolgt anfangs mit zunehmender, später mit abnehmender Geschwindigkeit. Der ausgeschnittene Froschmuskel erreicht nach Beginn der Zusammenziehung das Maximum der Kontraktion nach $1/30$—$1/25$ Sekunde, die Dauer der ganzen Zuckung beträgt etwa $1/10$—$1/6$ Sekunde; die Wiedererschlaffung und Verlängerung erfolgt aber zuletzt sehr langsam und ist nur unter der Einwirkung einer genügenden Belastung eine vollkommene. Die Muskeln warmblütiger Tiere und des Menschen arbeiten nur unwesentlich geschwinder, so daß wir diese eben angegebenen Zeitwerte auch für letztere als die annähernd richtigen betrachten dürfen, um so mehr, da hier individuelle Dispositionen, wie Übung, Ermüdung oder Geruhtsein, auch höhere oder niedrigere Temperatur und vieles andere kleine Differenzen bedingen. Dabei besitzt jedes Tier langsamer und rascher zuckende Muskeln, beim Frosch z. B. zuckt der Zungenbein-Zungenmuskel viel langsamer als der Wadenmuskel. Die langsamer zuckenden Muskeln zeigen meist eine hellere Färbung.

Unsere Soldaten machen in der Minute etwa 80 Schritt bei einfachem Marschieren, es trifft dann auf jeden Schritt $3/4$ Sekunde; bei Laufschritt werden in der Minute bis zu 200 Schritt ausgeführt, die Schrittdauer sinkt dann auf $3/10$ Sekunde herab. Bei gravitätischem Gange trifft auf die Sekunde sogar nach den Beobachtungen der Gebrüder Weber weniger als ein Schritt (Schrittdauer 1,05 Sekunde), bei schnellem einfachen Gehen sahen sie die Schrittdauer sinken auf $1/3$, bei Laufschritt noch tiefer, auf $26/100$ Sekunde. Während jedes Schrittes müssen sich aber die Muskeln der beiden Beine zusammenziehen und erschlaffen. Außerordentlich viel rascher sind die Bewegungen der Finger. In 10 Sekunden kann ich den Mittelfinger der rechten Hand 42 bis 45mal abwechselnd beugen und strecken, was, abgesehen von Ermüdung, 270 Bewegungen in der Minute beträgt, die Einzelbewegung erfordert nur 0,22 Sekunde. Ein geübter Violinspieler bringt es aber auf mehr als doppelt so viele Mittelfingerbewegungen, etwa 50 in 5 Sekunden, so daß der Ablauf der einzelnen Bewegungen nur 0,1 Sekunde erfordert. Auch die Hand hat eine überraschende Beweglichkeit, ein geübter Klavierspieler kann die Hand im Handgelenk in der Minute 360mal beugen und strecken, also sechsmal in der Sekunde, so daß jede solche Bewegung nur 0,16 Sekunde erfordert. Am raschesten verlaufen die Bewegungen der Sprechwerkzeuge und der Zunge. Valentin gibt an, daß er einen Hexameter, aus 45 Buchstaben bestehend, deutlich in 2 Sekunden herzusagen vermöge; jeder Buchstabe beansprucht eine besondere Stellung der Sprechwerkzeuge, letztere bedürfen also in diesem Falle nur zwischen 0,05 und 0,04, genau $44/1000$ Sekunde, um die Muskelaktion für das Sprechen eines Buchstaben einzuleiten und zu vollenden.

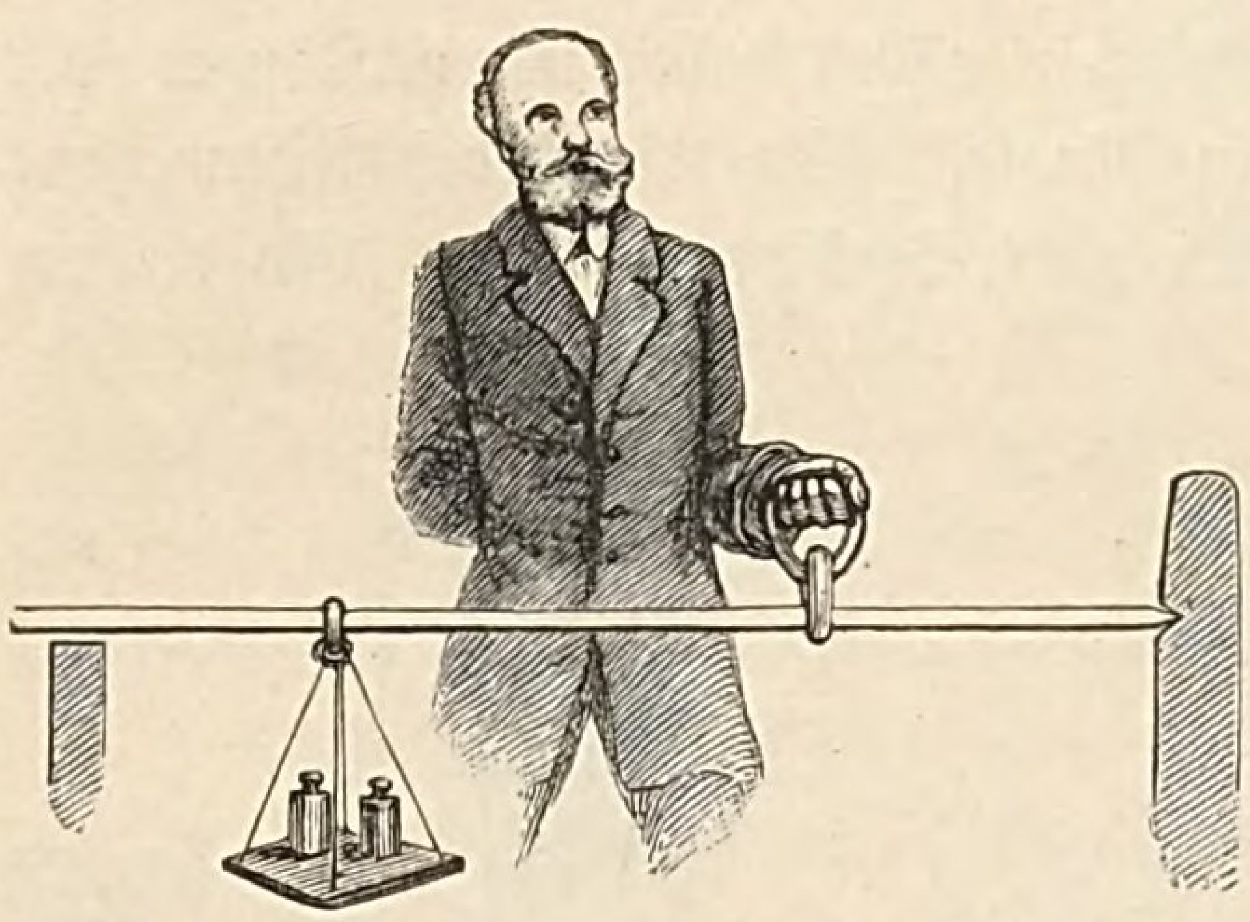
Eine solche Raschheit der Innervation, der Beeinflussung durch den Nerven, hat nach dem oben Gesagten nichts Überraschendes mehr für uns. Aus dem Muskelton bei tetanischen Muskelzusammenziehungen haben wir abgeleitet, daß der gleiche Muskel von dem gleichen Nerven aus in der Sekunde zwischen 19 und 20 Reizanstöße erfahren kann. Nach dem eben Gehörten können in derselben Zeit verschiedene Nerven auf verschiedene Muskeln die gleiche Anzahl von Einzeleinwirkungen stattfinden lassen. Auch insofern hat diese rasch aufeinander folgende Beeinflussung der Bewegungsorgane von seiten der Nerven eine gewisse Ähnlichkeit mit tetanischen Zusammenziehungen, als offenbar die neuen Bewegungen eingeleitet werden, ehe die vorhergehenden schon vollkommen in ihren Wirkungen wieder verschwunden sind; infolge davon werden, je rascher wir z. B. sprechen, die Buchstabenbildungen desto unvollkommener und verschwimmen mehr und mehr miteinander. So kommt es auch im Lauf- und Sturmschritt niemals zu einer vollen Erschlaffung der angestrengten Muskulatur, und gerade das ist der Grund, warum derartige Eilbewegungen nur eine kurze Zeit ausgehalten werden können; bei dem Beugen und Strecken des Mittelfingers und der Hand im Handgelenk nimmt schon gegen Ende der ersten 10 Sekunden die Bewegungsgeschwindigkeit erheblich ab.

Ehe wir die Darstellung dieser für die Physik unseres Organismus so überaus wichtigen Betrachtungen beendigen, wollen wir noch die Frage aufwerfen nach dem Maximum der möglichen Arbeitsleistung des Muskels. Die allgemeinen Gesichtspunkte für Beantwortung dieses Problems sind sehr einfache. Aus der Anschauung ergibt sich ohne weiteres, daß ein Muskel ein bestimmtes (kleines) Gewicht auf eine um so größere Höhe heben kann, je länger der betreffende Muskel ist. Das Maximum der Verkürzung besitzt eben bei einem längeren Muskel einen absolut höheren Wert als bei einem kürzeren. Kaum weniger einleuchtend ist das zweite allgemein gültige Gesetz: ein Muskel kann um so größere Gewichte auf eine bestimmte (kleine) Höhe heben, je dicker er ist, oder, wie wir uns im allgemeinen ausdrücken können, je größer sein Querschnitt ist. Die Arbeitsleistung des Muskels setzt sich ja aus der Arbeitsleistung seiner Primitivmuskelfasern zusammen, unter sonst gleichen Umständen wächst daher mit der Anzahl der als Einzelkräfte wirkenden Primitivmuskelfasern, die ein Muskel besitzt, die Arbeitsleistung des Muskels, der Summeneffekt aller Einzelleistungen seiner mikroskopischen Fasern. Ein dickerer Muskel besteht aus entsprechend mehr Primitivmuskelfasern, ihre Zahl ist der Größe seines Querschnittes im allgemeinen proportional, so daß sich hieraus die dem Querschnitt proportionale Zunahme der Muskelwirkung in der einfachsten Weise erklärt. Die Lasten, die ein Muskel zu halten, die Widerstände, die er durch seine aktive Verkürzung zu überwinden vermag, sind sehr bedeutende. Es ist hochinteressant, einen ausgeschnittenen Wadenmuskel des Frosches in der oben (S. 455) geschilderten Versuchsvorrichtung arbeiten zu sehen, wobei sein oberes Ende an dem Querarm eines Stativs befestigt, sein unteres Ende mit einem Gewicht belastet ist. Diese kleine Arbeitsmaschine, als welche uns dabei der Muskel entgegentritt, wiegt zwischen $^3/_{10}$ und $^5/_{10}$ g; aber wir sehen durch sie noch mit Leichtigkeit 100 g deutlich gehoben, ein Gewicht, welches also das Gewicht des Muskels um das Zwei- bis Dreihundertfache übertrifft. Wir bemerken bei einem derartigen Versuch, daß die Höhe, bis auf welche der Muskel ein eingehängtes Gewicht hebt, kleiner und kleiner wird mit der zunehmenden Größe des angehängten Gewichtes. Für jeden Muskel können wir durch Versuch ein Gewicht finden, welches von ihm gerade nicht mehr gehoben werden kann. Belasten wir den Muskel mit diesem Maximalgewicht in demselben Moment, in welchem wir ihn zur Zusammenziehung, z. B. elektrisch, reizen, so bleibt alles in Ruhe, der Muskel verändert seine Länge nicht, und das Gewicht wird nicht gehoben. Es ist diese Gewichtsgröße, welche nach Weber die „absolute Muskelkraft“ des betreffenden Muskels repräsentiert. Nach den vorausgeschickten allgemeinen Gesetzen der Muskelwirkung ist diese absolute Muskelkraft jedes Muskels seinem Querschnitt proportional, d. h. das betreffende Gewicht ist um so größer, je größer der Querschnitt des untersuchten Muskels ist. Um vergleichbare Zahlen für verschiedene Muskeln zu erhalten, berechnen wir daher nach dem Vorgang Webers die absolute Muskelkraft für 1 qcm Muskel. Für 1 qcm Froschmuskel



Messung der absoluten Muskelkraft. (Nach Ed. Weber.)
Die Erklärung der Abbildung vgl. Text, S. 460. ihg) der Fuß als Hebel, h) dessen Drehpunkt.

fand Rosenthal die absolute Muskelkraft zu 2,8—3,0 kg, für den Menschenmuskel beträgt sie bei willkürlicher Anspannung etwa dreimal soviel, bis 10 kg. Henke und Knorz fanden jedoch die Größe der absoluten Muskelkraft für je 1 qcm bei verschiedenen Muskeln des lebenden menschlichen Körpers auffallend verschieden: während sie nach ihren sehr exakten Bestimmungen für je 1 qcm der Unterschenkelmuskulatur nur 5,9 kg beträgt, steigt sie für die Armmuskulatur auf 8,2 kg. Ed. Weber war der erste, welcher eine Methode ersann, um die absolute Muskelkraft auch für bestimmte Muskeln und zwar für die Wadenmuskeln des lebenden Menschen zu eruieren. Die Methode ist zu interessant, als daß wir sie hier übergehen dürften. Zu den Bestimmungen diente die in der Figur, S. 459, schematisch abgebildete Wage, welche mit dem Laufgewicht P versehen ist. Der Wagebalken ab hatte seinen Drehpunkt in a gegen C und ruhte unter dem Punkte e (dem Angriffspunkt der Kraft) auf dem Kloße D. Bei e war in einer Öse ein Haken befestigt, mit welchem der Wagebalken ab von dem Kloße D abgehoben werden konnte. Der Mensch, dessen Wadenkraft gemessen werden soll, tritt auf die Unterlage D in der Weise, daß der Wagebalken zwischen die beiden parallel aufgestellten Füße und die Öse e gerade zwischen die beiden Beine zu stehen kommt. Der von der Öse e ausgehende Haken war an einem fest um die Hüften anliegenden Gurte befestigt. Die Versuchsperson suchte nun den Wagebalken ab bei vollkommen gestreckten Knien lediglich dadurch von der Unterlage D abzuheben, daß sie sich durch Zusammenziehung der Wadenmuskulatur unter Aufhebung der Ferse auf die Zehen zu stellen suchte. Das Laufgewicht P wurde nun so lange verschoben, bis gerade ein Abheben des Wagebalkens von seiner Unterlage unmöglich war. Das statische Moment oder die relative Schwere des Laufgewichtes kann nach den Hebelgesetzen leicht für jede mögliche Stellung desselben am Wagebalken gefunden werden und damit also auch jene Schwere, jenes Gewicht, welches gerade die Hebekraft der Wadenmuskulatur übertrifft. Damit ist also die absolute Muskelkraft der Wadenmuskeln beider Beine festgestellt, deren gemeinsamen mittleren Querschnitt Weber zu 153,17 qcm durch Beobachtungen an Leichen feststellte. Die Methode, welche Henke verwendete, war der Weberschen im Prinzip ähnlich (s. obenstehende Abbildung). Die Schwankungen, welche man bei verschieden kräftigen und verschieden geübten Personen erhält, sind übrigens nicht unbeträchtlich groß.



Messung der absoluten Muskelkraft. (Nach Henke.)

Die chemischen Eigenschaften des Muskelgewebes.

Die animalen Lebenseigenschaften des einfachsten Protoplasma erscheinen wesentlich als aktive Bewegungen, teilweise oder totale Kontraktionen, mit partiellen oder vollständigen Erschlaffungen abwechselnd. Kontrahiert sich ein animales Protoplasmaklümpchen vollständig, so erreicht es dabei die Kugelgestalt.

Die dem Protoplasma aller Zellen, aus denen sich unser Organismus aufbaut, primär zukommende Fähigkeit der aktiven Gestaltsveränderung durch Kontraktion, welche der Natur der Sache nach aber meist in mikroskopisch kleine Grenzen eingeschlossen bleibt, erreicht ihre vollste Ausbildung im Muskelgewebe und namentlich in den quergestreiften Muskelfasern, deren Bau

und Zusammenordnung zu Muskeln die Wirkung der Einzelkontraktion der mikroskopischen Elemente auf weite Strecken hin sich geltend machen läßt. Wir dürfen den **zähflüssigen Inhalt der glatten und quergestreiften Muskelfasern als einen der wesentlichsten Typen des Protoplasma** betrachten, und in chemischer Beziehung sowie in physiologischer Bethätigung ihres relativen Eigenlebens begegnen wir bei den Muskeln jenen Momenten wieder, welche wir für Zusammensetzung und Leben des animalen Protoplasma im allgemeinen charakteristisch gefunden und beschrieben haben.

Der Inhalt der Muskelfasern, welcher bei den quergestreiften mikroskopischen Muskelelementen von der Hülle des Sarkolemma umgeben wird, welch letztere aus einer der elastischen nahestehenden Substanz besteht, zeigt sich der Hauptmasse nach im wesentlichen als eine durch Muskelfarbstoff, der mit dem Blutrot identisch ist, gefärbte Lösung und Quellung verschiedener Modifikationen von Eiweißstoff in viel Wasser. Dazu gesellen sich als wesentliche Bestandteile noch Fette, Glykogen und Zucker sowie jene hoch zusammengesetzten phosphorhaltigen Körper, als deren wichtigster Vertreter gegenwärtig das Lecithin gilt, außerdem eine Reihe konstant auftretender unverbrennlicher Aschebestandteile, vor allen phosphorsaures Kali. Stets enthält der normal lebende Muskel auch Gase, an den Muskelfarbstoff lose gebunden Sauerstoff, der sich hier ganz wie bei dem Blutrot verhält, wenig Stickstoff und mehr Kohlensäure, beide letzteren, wie es scheint, frei in dem Protoplasma diffundiert. Kohlensäure und Wasser kennen wir als Zersetzungsprodukte, die letzten Stufen der „organischen Verbrennung" des Kohlenstoffes und Wasserstoffes der organischen Muskelbestandteile. Neben ihnen finden sich stets aber auch noch zahlreiche andere Zersetzungsprodukte der Muskelsubstanzen, welche, noch höher zusammengesetzt, teils als Vorstufen der Wasser- und Kohlensäurebildung anzusprechen sind, teils Stoffe, die den Organismus in der Nierenausscheidung, teilweise aber auch gelegentlich im Schweiß verlassen.

Wie bei dem Blut, hat man bei dem Inhalt der Muskelschläuche zwischen Plasma und Serum zu unterscheiden. Wie das Blut, der Einwirkung der lebenden Gefäßwand entzogen, gerinnt und sich dadurch in gallertigen Blutkuchen und flüssig bleibendes Blutwasser oder Serum trennt, so gerinnt auch die „Muskelflüssigkeit", d. h. das Muskelprotoplasma, während des Absterbens zu einer gallertigen Masse, welche eine serumähnliche saure Flüssigkeit auspreßt. Noch ähnlicher als mit der Blutgerinnung erscheint die Gerinnung der Muskelflüssigkeit mit der Milchgerinnung. Wie bei dieser, tritt nach oder schon während der Ausscheidung des Gerinnsels im Muskel eine reichliche Menge von Säure auf, welche zwar mit der Milchsäure der geronnenen Milch nicht vollkommen identisch ist, ihr aber sehr nahe steht und als Fleischmilchsäure bezeichnet wird. In welchem Zustand sich die Muskeleiweißstoffe im lebenden Muskel wie im lebenden Protoplasma überhaupt verhalten, ist noch so gut wie vollkommen unbekannt; lediglich das Vorkommen des Muskelfarbstoffes, dessen Identität mit Blutrot wir soeben hervorgehoben haben, und das Auftreten von einem Pepton, dem Verdauungsprodukt der Eiweißstoffe, geben dafür die erste Andeutung. Aus dem toten Muskel hat man als Eiweißmodifikationen gewonnen: Myosin, Syntonin, Kaseïn (oder Kalialbuminat) und das uns vom Blut her bekannte Serumeiweiß. Wie sich diese Eiweißstoffe etwa auf die einfach und die doppelt lichtbrechenden Schichten der quergestreiften Muskelfasern verteilen, in welchen Verbindungen mit anderen Stoffen sie sich im lebenden Muskel befinden mögen, ist noch unerforscht.

Zu den wesentlichen Bestandteilen des Muskelprotoplasmas gehört, wie wir oben angaben, auch eine geringe Menge wahrer Fette, deren Natur übrigens auch noch nicht sicher aufgehellt ist. Der im Muskelserum befindliche Zucker, Fleischzucker, ist ein Umwandlungsprodukt des im Muskel enthaltenen, uns von der Leber her bekannten Glykogens, eines stärkemehlähnlichen Stoffes, der sich sehr leicht und rasch in Zucker umzuwandeln vermag. Außer dem Glykogen und dem Fleisch-

zucker hat man auch das bei der Speichelverdauung aus Zucker entstehende Dextrin und noch eine vierte zuckerähnliche Substanz, Inosit oder Muskelzucker, wenigstens in einigen Fleischsorten gefunden. Die Fleischmilchsäure, welche, wie wir bald hören werden, sich auch unter gewissen Umständen in reichlicherer Menge schon im lebenden Muskelprotoplasma finden kann und hier höchst wahrscheinlich stets, wenn auch nur in sehr geringen Mengen, entsteht, erscheint als ein Umwandlungsprodukt der drei erstgenannten zuckerähnlichen Muskelbestandteile, deren Endprodukte des organischen Zerfalles Wasser und Kohlensäure sind.

Bei der Darstellung der Ernährungslehre haben wir eine Gruppe der Bestandteile des Fleisches erwähnt, welche für die Ernährung des Menschen als wichtigste Bestandteile der Fleischbrühe oder des mit dieser qualitativ identischen Liebigschen Fleischextrakts wichtig werden. Es sind das stickstoffhaltige kristallinische Zersetzungsprodukte des Eiweißes, welche teils unverändert, teils erst nach gewissen chemischen Umwandlungen in den Nierenausscheidungen wieder austreten, die stickstoffhaltigen Fleischextraktivstoffe. Ihre wissenschaftlichen Namen sind, zum Teil von den lateinischen und griechischen Bezeichnungen caro, creas und sarx für Fleisch abgeleitet: Kreatin und Kreatinin, Sarkin oder Hypoxanthin und Xanthin, Karnin (= Oxytheobromin) und Inosinsäure. In neuester Zeit scheint es Picard gelungen, im Fleische auch mit Sicherheit den kristallinischen Hauptbestandteil der Nierenausscheidung, den Harnstoff, nachzuweisen. Hier und da (krankhaft) scheint auch Harnsäure im Muskel vorzukommen.

Diese große Anzahl organisch-chemischer, d. h. verbrennlicher Stoffe bildet doch nur den vierten Teil der gesamten Stoffmasse des Muskelfleisches, welches zu drei Vierteln aus Wasser besteht, wozu noch die erwähnten unverbrennlichen Bestandteile der Fleischasche kommen, welche mit den uns bekannten „Blutsalzen“ qualitativ identisch sind.

Lebensvorgänge im ruhenden und thätigen Muskel.

Der Vorgang der Atmung, verbunden mit Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlensäure (und Wasserdampf), ist ein wesentliches Charakteristikum jedes lebenden animalen Organismus. Wir wissen schon, daß auch das Protoplasma im chemischen Sinne atmet, und es war eine der ersten hierher gehörenden Entdeckungen, daß es gelang, das relativ selbständige Leben der Muskeln dadurch zu bestätigen, daß man an ihnen die Fähigkeit der Atmung nachwies. Wie lebhaft die Empfindung von der hohen prinzipiellen Tragweite dieser Entdeckung war, geht daraus hervor, daß man den Vorgang mit einem eigenen Namen: „Muskelrespiration“, bezeichnen zu müssen glaubte. Heute wissen wir, daß jede Zelle zur Erhaltung ihres Lebens Sauerstoff aufzunehmen genötigt ist und dafür Kohlensäure abgibt. Die Muskelatmung fällt unter die während des Lebens in allen Organen und Organteilen ununterbrochen vor sich gehende Summe chemischer Vorgänge, welche wir als „Organatmung“ bei unserer Besprechung der Allgemeinatmung des Menschen abgehandelt haben.

Aber erst in neuester Zeit ist es gelungen, einen tieferen Einblick in das Wesen jener vom Sauerstoff angeregten chemischen Stoffwechselvorgänge zu gewinnen, als deren Endresultat die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Organ bemerkbar wird. Schon aus unserer oben gegebenen Aufzählung der im Muskelprotoplasma vorkommenden Stoffe wird es ersichtlich, daß unter letzteren wahre Verdauungsprodukte der primären Muskelbestandteile, sowohl der Eiweißstoffe als des dem Stärkemehl auch durch seine Unlöslichkeit in Wasser analogen Glykogens, auftreten. Nirgends besser als gerade im Protoplasma des Muskels läßt es sich

nachweisen, daß in allem lebenden Protoplasma chemische Umsetzungen eintreten, welche den uns von der Verdauungslehre her bekannten im wesentlichen entsprechen.

Als Verdauungsprodukte des Stärkemehles sind uns bekannt: Stärkegummi oder Dextrin und Zucker, welcher im Magen sich teilweise weiter noch in Säure, Milchsäure, umwandelt. Diese Umwandlungen erfolgen in den Verdauungsorganen durch zwei verschiedene Fermente, Gärungserreger; die Bildung von Dextrin und Zucker erfolgt durch das zuckerbildende Ferment des Speichels, Bauchspeichels und Darmschleimes, die animale Diastase; zur Überführung von Zucker in Milchsäure im Magen bedarf es eines Milchsäureferments, als welches die zahllosen z. B. in den Unreinigkeiten der Zähne schon im Munde befindlichen Gärungspilze dienen mögen. Zur Umwandlung von Eiweißstoffen oder leimgebender Substanz in leichter lösliche Peptone, Eiweißpepton und Leimpepton, kommen in den Verdauungsorganen die peptonbildenden Fermente (Pepsin) des Magens sowie die entsprechenden der Bauchspeicheldrüse und der Darmschleimhaut zur Wirkung. Diese drei verschiedenartig wirkenden Gruppen von Fermenten: zuckerbildendes, milchsäurebildendes und peptonbildendes Ferment, sind, wie es scheint in je einem Vertreter, in dem Protoplasma des Muskels nachgewiesen worden, und ihnen entsprechend wurden als Verdauungsprodukt des Glykogens Dextrin, Zucker, Milchsäure, respektive Fleischmilchsäure, als Verdauungsprodukt des Eiweißes Eiweißpepton als Bestandteile des Muskelprotoplasma gefunden. Sehr wahrscheinlich erscheint es, daß auch noch ein fettspaltendes Ferment, wie wir ein solches namentlich von der Bauchspeicheldrüse her kennen, im Muskelprotoplasma vorhanden ist. Der Stoffwechsel des Muskels ist also nicht, wie man so lange annehmen zu dürfen glaubte, eine einfache, unter der Einwirkung des Sauerstoffes auftretende Verbrennung, sondern wir sehen ihn beginnen und fortschreiten als eine wahre Verdauung, welche sich, wie die Verdauung durch die Verdauungsorgane, zunächst an die Gärungserscheinungen anreiht. Bei der Milchsäuregärung entsteht neben der Säure aus Zucker auch Kohlensäure, die Kohlensäurebildung des Muskels in der Muskelatmung ist sicherlich zum Teil ein Produkt der Milchsäuregärung, nicht einer mehr oder weniger direkten Verbindung von Kohlenstoff mit Sauerstoff.

Während der Thätigkeit des Muskels ist, wie mit aller Sicherheit nachgewiesen werden konnte, seine gesamte innere Stoffbewegung erhöht. Qualitative Unterschiede des Stoffwechsels zwischen dem ruhenden und dem thätigen Muskel finden sich aber, wie es scheint, nicht; der ganze Unterschied läßt sich auf Steigerung der schon in der Ruhe im Muskel stattfindenden chemischen Vorgänge zurückführen. Die Sauerstoffaufnahme aus dem Blut und die Kohlensäureabgabe des Muskels in das Blut werden durch Thätigkeit des Muskels ansehnlich gesteigert. Die wichtigsten primären Bestandteile des Muskelprotoplasma werden durch diese Steigerung des Umsatzes vermindert: die Eiweißstoffe und das Glykogen. Die Untersuchungen lassen kaum einen Zweifel darüber, daß der Verbrauch an Muskelsubstanz zum Zweck der Arbeitsleistung zunächst in einem den Verdauungsvorgängen im Ernährungskanal ganz analogen Prozeß, welcher im Muskelprotoplasma selbst verläuft, besteht. Es gilt das namentlich für das Glykogen; dasselbe wird zwar, wie gesagt, vermindert, aber dafür treten die Verdauungsprodukte desselben, Zucker und Fleischmilchsäure, in gesteigerter Menge im thätigen Muskel auf. Die letztere verändert durch die Anhäufung von Milchsäure im Muskelprotoplasma die alkalische oder neutrale Reaktion, welche dem geruhten Muskel zukommt, in eine saure Reaktion. Der Muskelsaft wird sonach durch die Thätigkeit des Muskels sauer, eine Entdeckung von prinzipieller Bedeutung, welche wir Du Bois-Reymond verdanken. Durch die Wirkung des alkalischen Blutes, welches bei dem Durchströmen durch den Muskel diesen nicht nur auswäscht, sondern auch seine saure Reaktion neutralisiert, geht die Reaktion des Muskelsaftes nach dem Aufhören stärkerer Kontraktionen des Muskels rasch wieder in die neutrale oder alkalische zurück.

Es ist noch nicht sichergestellt, ob, wie es sehr wahrscheinlich, durch die stärkere Thätigkeit des Muskels seine Eiweißstoffe zuerst teilweise in Peptone verwandelt werden, ob der Peptongehalt des thätigen Muskels größer ist als des geruhten. Der Verminderung der wahren Eiweißstoffe steht nach unseren bisherigen Kenntnissen eine Vermehrung einer Anzahl der stickstoffhaltigen Fleischextraktstoffe und eine Vermehrung des Fettes gegenüber; beide Stoffgruppen dürfen wir als Spaltungsprodukte von Eiweißkörpern bezeichnen. Die Zersetzungen der Muskelsubstanz bleiben aber auf diesen Anfangsstufen nicht stehen.

Bei der Lebensthätigkeit des Muskels, wie aller unserer Organe und Zellen, spielt, wie wir hörten, das **Blut** eine doppelte Rolle. Einerseits führt es dem Organ Sauerstoff zu und die nötigen festen Stoffe zum Ersatz seines während des Lebens beständig, aber bei gesteigerter Thätigkeit in entsprechend erhöhtem Maße eintretenden Stoffverlustes. Anderseits führt das Blut, indem es nach dem oben gebrauchten Ausdruck die Organe auswäscht, die im Lebensprozeß stets und in gesteigertem Maße bei gesteigerter Thätigkeit der Organe gebildeten Zersetzungsprodukte ab. Wir haben bei der Lehre von der Bedeutung des Blutes für das Allgemeinleben sowie für das Einzelleben der Organe und Zellen schon auf diese Wechselwirkung zwischen Organ und Blut hingewiesen. Bei der Betrachtung der Muskelthätigkeit erkennen wir aber die Bedeutung der Stoffabgabe und Stoffaufnahme auf seiten des Organes und des Blutes in anschaulichster Weise, und die Untersuchung der Physiologie der Nerven und nervösen Zentralorgane lehrt uns, daß auch diese für das Menschenleben wichtigste Organgruppe ganz entsprechende Verhältnisse erkennen läßt.

Es ließ sich feststellen, daß der bluthaltige und in noch höherem Maße der normal blutdurchströmte Muskel eine weit höhere Summe mechanischer Arbeit zu leisten vermag als der experimentell blutlos gemachte Muskel. Während der gesteigerten Thätigkeit des Muskels zeigt sich dabei auch gleichzeitig der Stoffverkehr zwischen Muskel und Blut gesteigert. Während das Protoplasma in ruhigem, chemisch vollkommen normalem Zustande indifferenten Flüssigkeiten, wie dem Blutplasma, den Eintritt nur in minimaler Weise gestattet, nimmt unter der Einwirkung der infolge der Muskelleistung eintretenden chemischen Umwandlungen des Muskelprotoplasma, namentlich durch das Auftreten der sauren Reaktion desselben, dessen Aufsaugungsfähigkeit, die Imbibitionsfähigkeit, für Blutflüssigkeit in hohem Maße zu. Die Ernährungsflüssigkeit dringt daher infolge der gesteigerten Muskelthätigkeit in gesteigerter Quantität in den Muskel ein, so daß die normale Ernährung des Muskels wesentlich bedingt erscheint dadurch, daß der Muskel ein bestimmtes Quantum von Arbeit leistet. Dasselbe gilt auch für alle übrigen Organe unseres Körpers. Wir können den Satz aussprechen: **nur das arbeitende Organ wird normal ernährt.** Dabei haben wir uns aber zu erinnern, daß im gesunden Leben auch dann, obwohl reduziert, die Lebensarbeit der Organe fortgeht, wenn sie uns im Vergleich mit ihren höchstmöglichen Leistungen ruhend erscheinen. Das stärker arbeitende Organ bekommt auch eine reichlichere Zufuhr von Blut als das relativ ruhende; die arteriellen Blutgefäße, welche zu dem arbeitenden Organ führen, erweitern sich, sie erscheinen stärker mit Blut gefüllt, und gleichzeitig ist die Herzthätigkeit und damit der Blutstrom im ganzen Organismus gesteigert. Durch die Vereinigung aller dieser Ursachen werden die durch die Muskelthätigkeit in größerer Menge gebildeten Zersetzungsprodukte der Muskelsubstanz relativ rascher aus dem Muskel entfernt. Immerhin häufen sich, wie wir hörten, im stark und anhaltend arbeitenden Muskel diese Zersetzungsprodukte, namentlich die Fleischmilchsäure und durch ihre Anwesenheit gebildete saure Salze des Muskelsaftes, endlich so weit an, daß der letztere eine saure Reaktion annimmt. Solche saure Reaktion ist dann das Zeichen starker **Ermüdung** des Muskels, welcher dadurch seine Leistungsfähigkeit in hohem Maße eingebüßt hat. Lassen wir nun unsere Muskeln ruhen, so wäscht, wenn der Blutstrom, wie z. B. bei Bergtouren, genügend gesteigert ist, der gesteigerte Blutstrom die Fleischmilchsäure

und die betreffenden sauren Salze rasch aus und neutralisiert sie, und wie mit einem Zauberschlag sind nach kurzer Rast die Ermüdungserscheinungen wieder verschwunden. Wir haben durch das Experiment direkt nachweisen können, daß die Ermüdung der Muskeln durch Anhäufung von Muskelzersetzungsprodukten im Muskelsaft, namentlich Fleischmilchsäure, saure Salze, Kohlensäure und andere, hervorgerufen werde; wir nannten daher diese Stoffe „ermüdende Substanzen". Mit der Entfernung und Neutralisation der ermüdenden Substanzen, unter welchen wieder die Fleischmilchsäure die erste Rolle einnimmt, verschwinden die objektiven und subjektiven Ermüdungserscheinungen.

Unter den objektiven Ermüdungserscheinungen ist am bekanntesten die steigende Kraftlosigkeit der ermüdenden Muskeln, welche ebenfalls durch die gleichen, eben genannten ermüdenden Stoffe bedingt wird. Auch in krankhaften Zuständen oder nach lange dauernder Unthätigkeit, wodurch der Blutzufluß zu dem betreffenden Organ unter die Norm und damit auch die Stärke der nötigen „Organwaschung" sinkt, beruht die „Ermüdung" auf den gleichen Stoffen. Aber auch jene oben (S. 454) erwähnte auffallende Thatsache gehört in die Gruppe der objektiven Ermüdungen, daß der thätige und ermüdete Muskel dehnbarer ist als der ruhende und geruhte. Auch diese Veränderung einer wesentlichen Lebenseigenschaft des Muskels ist, wie das Experiment lehrt, lediglich Folge des Auftretens und der Anhäufung von Fleischmilchsäure. Übermäßige Ermüdung kann, wie z. B. bei gehetztem Wilde oder beim Menschen bei Überanstrengung auf Märschen, direkt den Tod herbeiführen. Die chemische und physikalische Veränderung, welche die Muskelsubstanz während der übermäßig gesteigerten Thätigkeit erfuhr, und welche, abgesehen von solchen extremen Fällen, durch Ruhe zu einer vollen Restitution gebracht werden kann, der Zustand äußerster Leistungsbehinderung durch Ermüdung, geht in solchen Fällen in den Zustand der definitiven Vernichtung der Muskelleistungsfähigkeit und Erregbarkeit, in den Tod derselben, über. Die saure Reaktion des Muskelsaftes läßt dann die oben erwähnte Gerinnung des Muskelprotoplasma rasch eintreten, es scheidet sich Myosin gallertig aus, der Muskel stirbt ab. Hört aus irgend einer Ursache die Blutzirkulation im Muskel auf, z. B. bei geschlachteten Tieren, so tritt ebenfalls unter Säureentwickelung und Ausscheidung von Myosingerinnseln das Absterben desselben ein. Außerordentlich rasch erfolgt die Säuerung und Myosinausscheidung des Muskels, wenn wir auf ihn eine Temperatur von $+50^{0}$ einwirken lassen. Dagegen bleibt die Säuerung ganz aus, wenn wir den lebensfrischen, sofort nach dem Schlachten des Tieres ausgeschnittenen Muskel in siedendes Wasser werfen. Durch die Myosinausscheidung wird der abgestorbene Muskel teigig, fest, sein Aussehen trübe. Ist dem Muskel bei dem Absterben die Möglichkeit dazu gegeben, so verändert er, aber freilich mit geringer Kraft, dabei seine Gestalt ähnlich wie bei der Muskelzusammenziehung, er wird dicker und kürzer. Man kann diese Formveränderungen an ausgeschnittenen Muskeln leicht beobachten. Sind die absterbenden Muskeln in der Leiche in ihrer natürlichen Verbindung und die Glieder nicht durch anderweitige Einflüsse verlagert, so nehmen durch die im Tode erfolgende Muskelverkürzung die Glieder unbewegliche Stellungen ein, die den Anschein geben, als hätten sich alle Muskeln im Krampfe zusammengezogen. Dieser Zustand, in welchem der ganze Körper unbeweglich starr wird, trägt den Namen Muskelstarre. Infolge der fortschreitenden Zersetzungen, welche nach dem Tode eintreten, ändert sich die saure Reaktion des Muskelsaftes (durch Auftreten von Ammoniak) wieder in die alkalische um, die Myosingerinnsel und mit ihnen die Starre lösen sich infolge davon wieder. Stirbt ein Muskel durch Unterbrechung des Blutzuflusses ab, so läßt sich, wenn die Todesveränderungen noch nicht zu weit fortgeschritten sind, durch Wiederherstellung der Blutzirkulation auch seine Leistungsfähigkeit wiederherstellen.

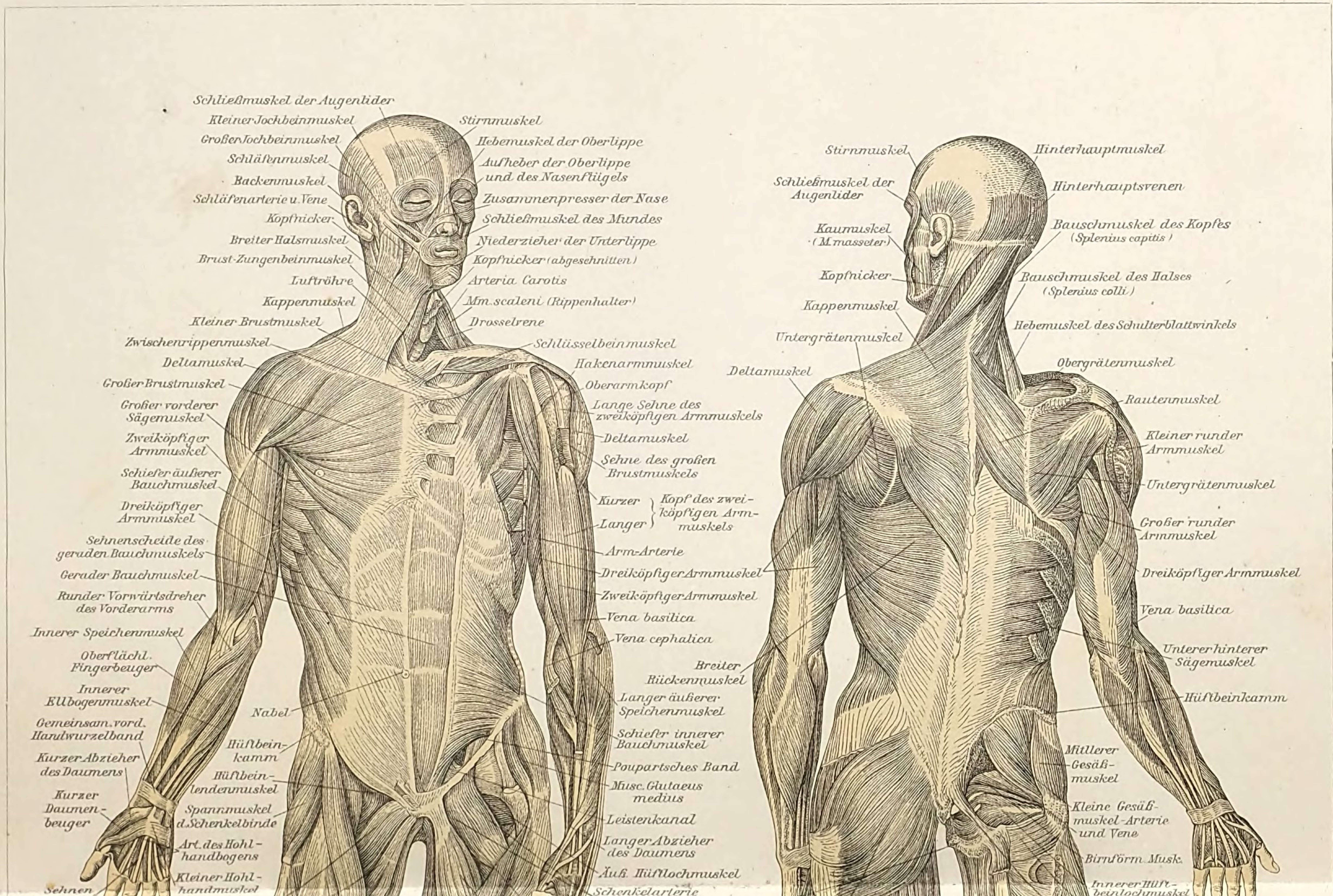
Muskelerregbarkeit und Muskelreize.

Der Akt der Überführung des Muskels aus dem ruhenden in den thätigen Zustand wird als **Erregung**, die Fähigkeit des Muskels, erregt zu werden, als **Erregbarkeit** des Muskels bezeichnet. Das Agens, durch welches der Muskel erregt wird, ist der **Muskelreiz**.

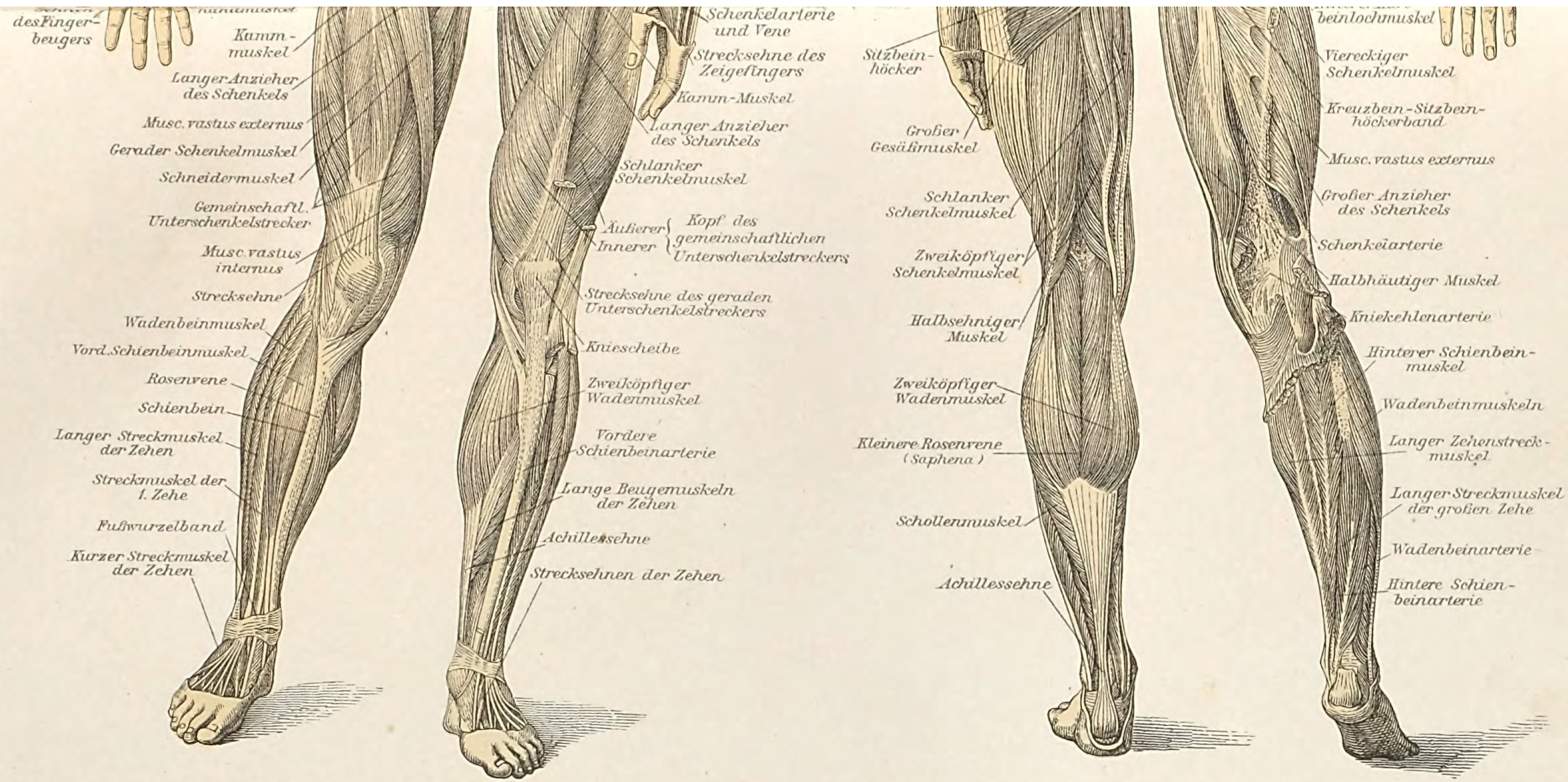
Die Erregbarkeit der Muskeln ist bei verschiedenen Personen individuell und bei dem gleichen Individuum in einzelnen Muskeln und Muskelgruppen verschieden. Die Erregbarkeit erscheint geringer, wenn eine bedeutendere Reizstärke zur Erregung des Muskels notwendig ist, oder umgekehrt höher. Die Erregbarkeit wird besonders durch innere chemische Veränderungen des Muskels herabgesetzt, also namentlich infolge von Ermüdung, deren objektive Veränderungen wir eben dargelegt haben. Immer stärkere Reize (z. B. Willensantriebe) sind erforderlich, um den ermüdenden Muskel zur Fortsetzung seiner Arbeit zu nötigen; endlich versagt er den Dienst ganz, seine Erregbarkeit ist zeitweise oder dauernd auf Null herabgesetzt. Auffallenderweise ist aber die **Thätigkeit des Muskels zuerst mit einer Erhöhung der Erregbarkeit und Leistungsfähigkeit verbunden.** Der Widerstand, welcher dem Übergang aus dem ruhenden in den thätigen Zustand im Muskel selbst entgegensteht, die „Trägheit des Organs", muß zuerst durch einen stärkeren Anstoß beseitigt werden, dann genügen bis zum Eintritt eigentlicher Ermüdung schwächere Reize. Eine sehr auffallende Wirkung auf die Erregbarkeit der Muskeln besitzen Temperaturschwankungen, welche den (ausgeschnittenen) Muskel selbst treffen. Die Erregbarkeit nimmt bis zu einer gewissen Grenze mit der Temperaturerhöhung zu, bei Temperaturen, welche zur Myosingerinnung führen, hört sie mit dieser plötzlich auf. Temperaturveränderungen unter die normale Körpertemperatur vermindern dagegen von Anfang an die Muskelerregbarkeit und vernichten sie endlich. Bei dem lebenden Menschen kommen solche Kältewirkungen aber erst bei extremen, an das **Erfrieren** grenzenden Zuständen zur Beobachtung, da bis dahin die Eigentemperatur des Menschen nur sehr wenig schwankt. Das Gleiche gilt für erhöhte Wärme.

Für den normalen, im normalen Verbande des Organismus befindlichen Muskel **geht der Muskelreiz von dem mit ihm verbundenen Bewegungsnerven aus.** Was für Veränderungen der Nerv im Muskel hervorruft, welche dann als Reize dienen, werden wir erst bei Untersuchung der Nervenwirkungen näher verstehen lernen. Aber darauf müssen wir schon hier hindeuten, daß es sich dabei nach unseren bisherigen Erfahrungen nur entweder um einen **elektrischen** oder einen **chemischen** Reiz handeln kann.

Sowohl durch Elektrizität als durch chemische Einwirkungen können wir den Muskel, auch abgesehen von seinem Nerven, in den Erregungszustand versetzen, Elektrizität und chemische Agenzien sind Muskelreize. Der elektrische Strom wirkt dann erregend auf den Muskel, wenn er plötzlich in demselben geöffnet oder geschlossen wird oder sonst beträchtliche Intensitätsschwankungen erleidet, wenn z. B. die Intensität des elektrischen Stromes plötzlich von einer bestimmten Höhe zu Null absinkt oder von Null an sich zu einer bestimmten Höhe erhebt. Eine einzelne solche Intensitätsschwankung des erregenden elektrischen Stromes bewirkt eine „einfache Muskelzuckung"; folgen sich aber die elektrischen Reize, wie wir oben anführten, rasch aufeinander, so zieht sich der Muskel dauernd, „tetanisch", im Starrkrampf, zusammen. Unter den chemischen Einflüssen, welche den Muskel zu erregen vermögen, ist besonders wichtig, daß die Milchsäure und Fleischmilchsäure schon in sehr verdünntem Zustande als Muskelreize wirken. Ähnlich verhalten sich andere Säuren, z. B. die Gallensäuren, und namentlich saure Metallsalze, vor allen Kalisalze. Auch Berührung mit heißen Körpern und mechanische Alterationen, Druck, Quetschen, Zerren, Dehnen, wirken energisch als Muskelreize.



Schließmuskel der Augenlider
Kleiner Jochbeinmuskel
Großer Jochbeinmuskel
Schläfenmuskel
Backenmuskel
Schläfenarterie u. Vene
Kopfnicker
Breiter Halsmuskel
Brust-Zungenbeinmuskel
Luftröhre
Kappenmuskel
Kleiner Brustmuskel
Zwischenrippenmuskel
Deltamuskel
Großer Brustmuskel
Großer vorderer Sägemuskel
Zweiköpfiger Armmuskel
Schiefer äußerer Bauchmuskel
Dreiköpfiger Armmuskel
Sehnenscheide des geraden Bauchmuskels
Gerader Bauchmuskel
Runder Vorwärtsdreher des Vorderarms
Innerer Speichenmuskel
Oberflächl. Fingerbeuger
Innerer Ellbogenmuskel
Gemeinsam. vord. Handwurzelband
Kurzer Abzieher des Daumens
Kurzer Daumenbeuger
Sehnen
Nabel
Hüftbeinkamm
Hüftbeinlendenmuskel
Spannmuskel d. Schenkelbinde
Art. des Hohlhandbogens
Kleiner Hohlhandmuskel
Stirnmuskel
Hebemuskel der Oberlippe
Aufheber der Oberlippe und des Nasenflügels
Zusammenpresser der Nase
Schließmuskel des Mundes
Niederzieher der Unterlippe
Kopfnicker (abgeschnitten)
Arteria Carotis
Mm. scaleni (Rippenhalter)
Drosselvene
Schlüsselbeinmuskel
Hakenarmmuskel
Oberarmkopf
Lange Sehne des zweiköpfigen Armmuskels
Deltamuskel
Sehne des großen Brustmuskels
Kurzer
Langer
Kopf des zweiköpfigen Armmuskels
Arm-Arterie
Dreiköpfiger Armmuskel
Zweiköpfiger Armmuskel
Vena basilica
Vena cephalica
Langer äußerer Speichenmuskel
Schiefer innerer Bauchmuskel
Poupartsches Band
Musc. Glutaeus medius
Leistenkanal
Langer Abzieher des Daumens
Äuß. Hüftlochmuskel
Schenkelarterie
Stirnmuskel
Schließmuskel der Augenlider
Kaumuskel (M. masseter)
Kopfnicker
Kappenmuskel
Untergrätenmuskel
Deltamuskel
Breiter Rückenmuskel
Hinterhauptmuskel
Hinterhauptsvenen
Bauschmuskel des Kopfes (Splenius capitis)
Bauschmuskel des Halses (Splenius colli)
Hebemuskel des Schulterblattwinkels
Obergrätenmuskel
Rautenmuskel
Kleiner runder Armmuskel
Untergrätenmuskel
Großer runder Armmuskel
Dreiköpfiger Armmuskel
Vena basilica
Unterer hinterer Sägemuskel
Hüftbeinkamm
Mittlerer Gesäßmuskel
Kleine Gesäßmuskel-Arterie und Vene
Birnförm. Musk.
Innerer Hüftbeinlochmuskel



Vorderansicht.

Auf der linken Körperhälfte sind am Halse, der Schulter, dem Unterarm und Oberschenkel die oberflächlichen Muskeln abgetragen worden.

Rückenansicht.

Auf der rechten Körperhälfte sind die oberflächlichen Muskeln teilweise abgetragen worden.

Muskeln des Menschen.

Die Muskeln des Menschen und der menschenähnlichen Affen.

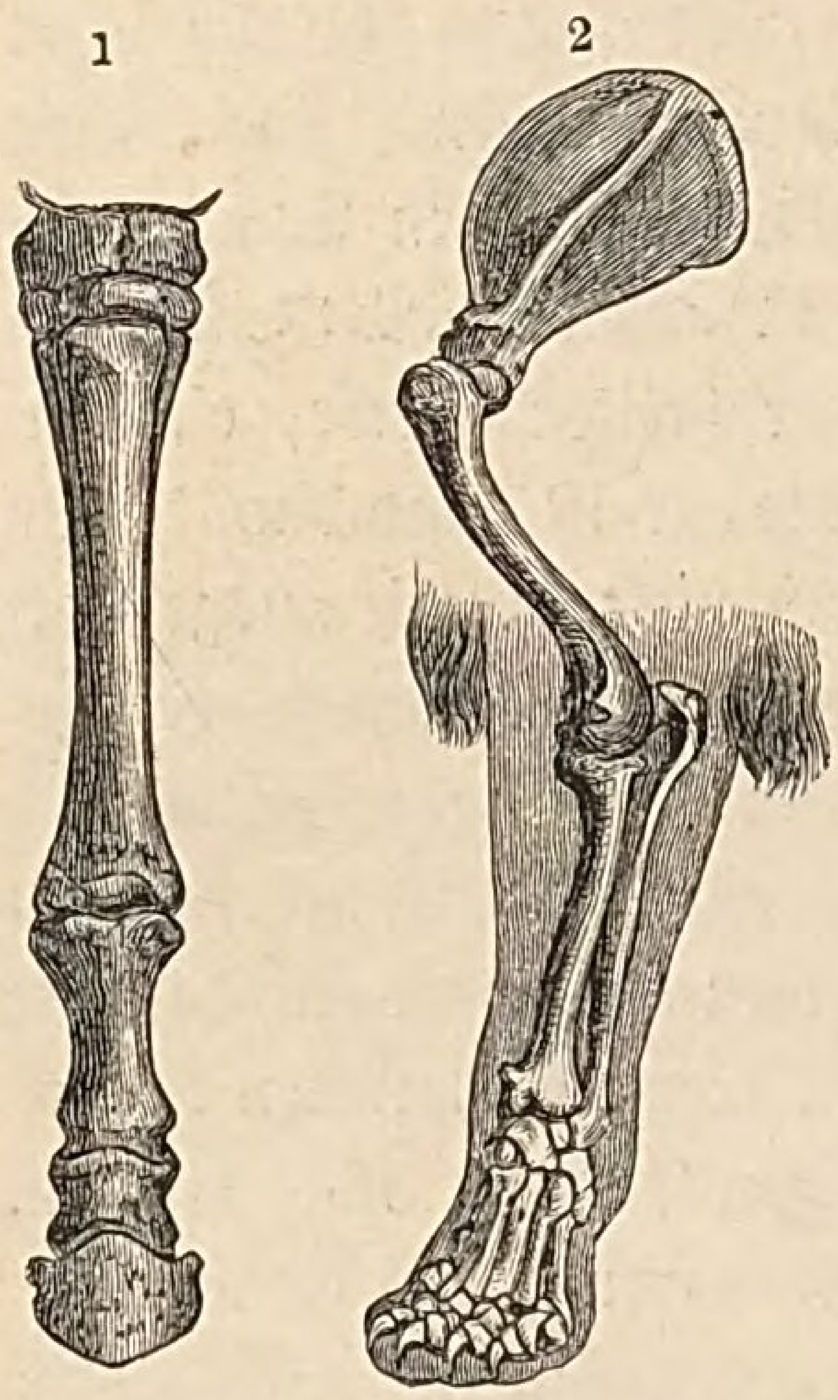
Wir versagen es uns, hier auf die nähere Beschreibung der einzelnen Muskeln, ihrer Ursprünge und Ansätze, ihres Verlaufes und ihrer speziellen Wirkung einzugehen. Namen und Lagerung der hauptsächlichsten Muskeln sind aus der beigehefteten Tafel „Die Muskeln des Menschen" zu ersehen. Die deutschen Muskelnamen geben auch im wesentlichen für sich schon einige Winke über die Muskelwirkungen. Wer sich für all das Nähere interessiert, findet leicht Aufschluß in jedem Lehrbuch der menschlichen Anatomie. Vom anthropologischen Standpunkt begründen wir hier diesen Verzicht einerseits damit, daß ohne ein weites Ausholen und Beibringen eines überreichen Materials, welches den Raum dieses Bandes überschreiten würde, ein eingehendes, exaktes Verständnis der speziellen Muskellehre nicht ausführbar ist, und damit, daß anderseits die Muskelanatomie des menschenähnlichen Affen doch noch nicht so weit ausgebildet und die Möglichkeit und Breite der Variation der Muskeln beim Menschen noch nicht so weit genügend statistisch festgestellt ist, daß für eine allgemein verständliche Darstellung aus den vielfach noch unsicheren und bestrittenen Angaben, die gemacht werden müßten, ein realer Nutzen entstehen könnte. R. Hartmann hat mit gewohnter Objektivität fremde und eigene Erfahrungen über die Muskulatur des Menschenaffen in seinem vortrefflichen Werkchen „Die menschenähnlichen Affen" zusammengefaßt. Dort möge sich der Interessent, der nicht Anatom von Fach ist, Rats erholen. Wir schließen uns vollständig Hartmanns Schlußbemerkung an: „Man ersieht, daß die Muskelbildung der Anthropoiden trotz mancher anscheinend beständiger Eigentümlichkeiten, trotz großer und mannigfaltiger Variation, selbst angesichts der vielen abweichenden Darstellungen unserer Autoren eine im ganzen sehr menschenähnliche genannt werden muß. Sie zeigt ja, namentlich an den unteren Gliedmaßen, manches die Fähigkeit zum aufrechten Gang Beeinträchtigende und an anderen Teilen noch anderes Tierartige; allein die Menschenähnlichkeit der Muskulatur dieser Tiere bleibt doch überwiegend." Im einzelnen finden sich bei der Muskulatur, ganz ähnlich wie am Skelet, quantitativ, aber auch wohl qualitativ genug Unterschiede, so daß jeder Affenmuskel von dem entsprechenden Menschenmuskel, wenn einmal die Untersuchung sich mit diesen Fragen genügend beschäftigt haben wird, ebensogut wie schon heute jeder Affenknochen von dem entsprechenden Menschenknochen wird unterschieden werden können. Aber ein allgemein gültiges Baugesetz, vor allem nur durch das physiologische Bedürfnis modifiziert, ist auch hier unverkennbar.

Wir beschließen unsere Betrachtung der Muskel- und Knochenlehre des Menschen mit einer gedrängten Übersicht über einige Hauptbewegungen, welche von dem Menschen ausgeführt werden. Auf die Körperbewegungen der Menschenaffen kommen wir noch unten zurück, außerdem verweisen wir auf die zoologische Beschreibung dieser Tiere in „Brehms Tierleben".

Hand und Fuß.

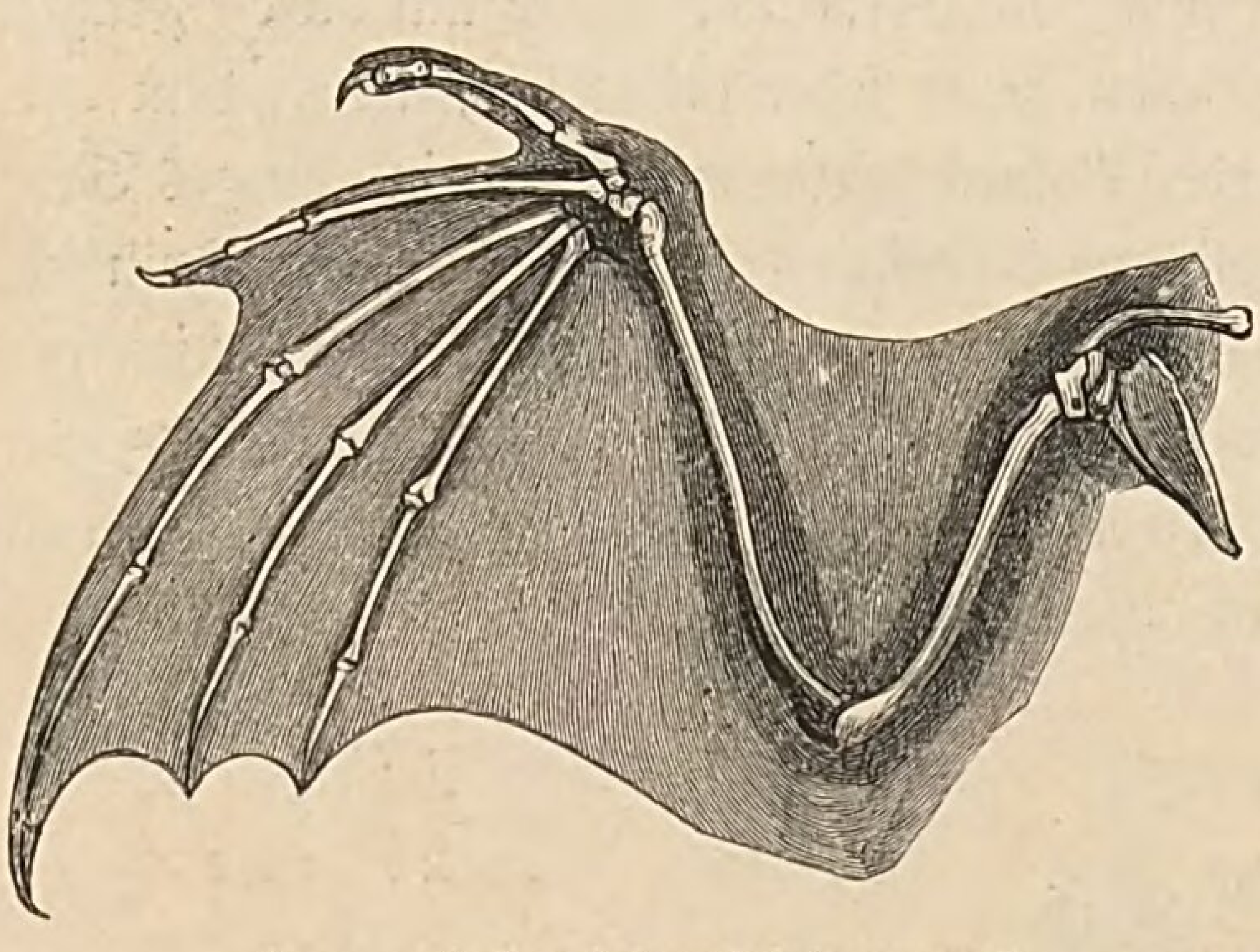
Die Überlegenheit der Menschenhand über die Hand der Affen und die Vorderglieder der übrigen Säugetiere beruht, wie wir gesehen haben, nicht etwa in dem Auftreten eines neuen Bauprinzips. Wir erkennen im Gegenteil kaum an einem anderen Teile des Körpers die allgemein gültige Baugesetzmäßigkeit, welche die Körperbildung aller Säugetiere wie der des Menschen beherrscht, deutlicher und auch für den Nichtanatomen verständlicher ausgeprägt als gerade in der Bildung der Gliedmaßen. Das allgemeine Bau-Schema ist das gleiche, nur die Ausführung im einzelnen mehr oder weniger vollkommen oder nach gewissen Richtungen modifiziert, je nach dem Gebrauch, welchen das animale Wesen von dem Gliede während seines Lebens zu

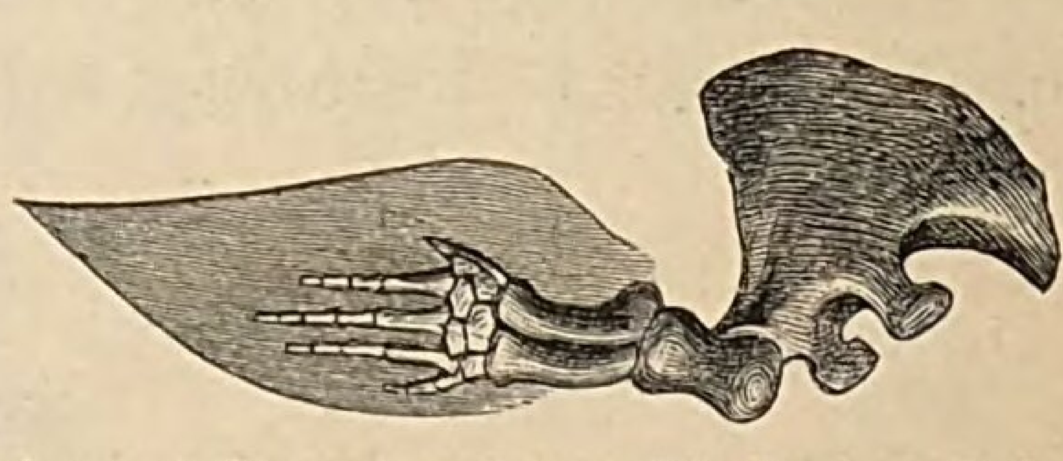
machen genötigt ist. Die allgemeine Baugesetzmäßigkeit, z. B. der vorderen Extremität mit ihrem Endglied, läßt sich bei allen Säugetieren auf das Bildungsgesetz zurückführen, welches wir für den Arm des Menschen mit der Hand kennen gelernt haben. Auch in dieser Hinsicht erscheint uns der Mensch als das Paradigma, das allgemeine, zusammenfassende Beispiel, dessen Regeln oder Gesetze trotz aller Modifikationen im einzelnen doch überall wieder hervorleuchten.



1) Fuß des Pferdes. 2) Fuß und Vorderbein des Löwen.

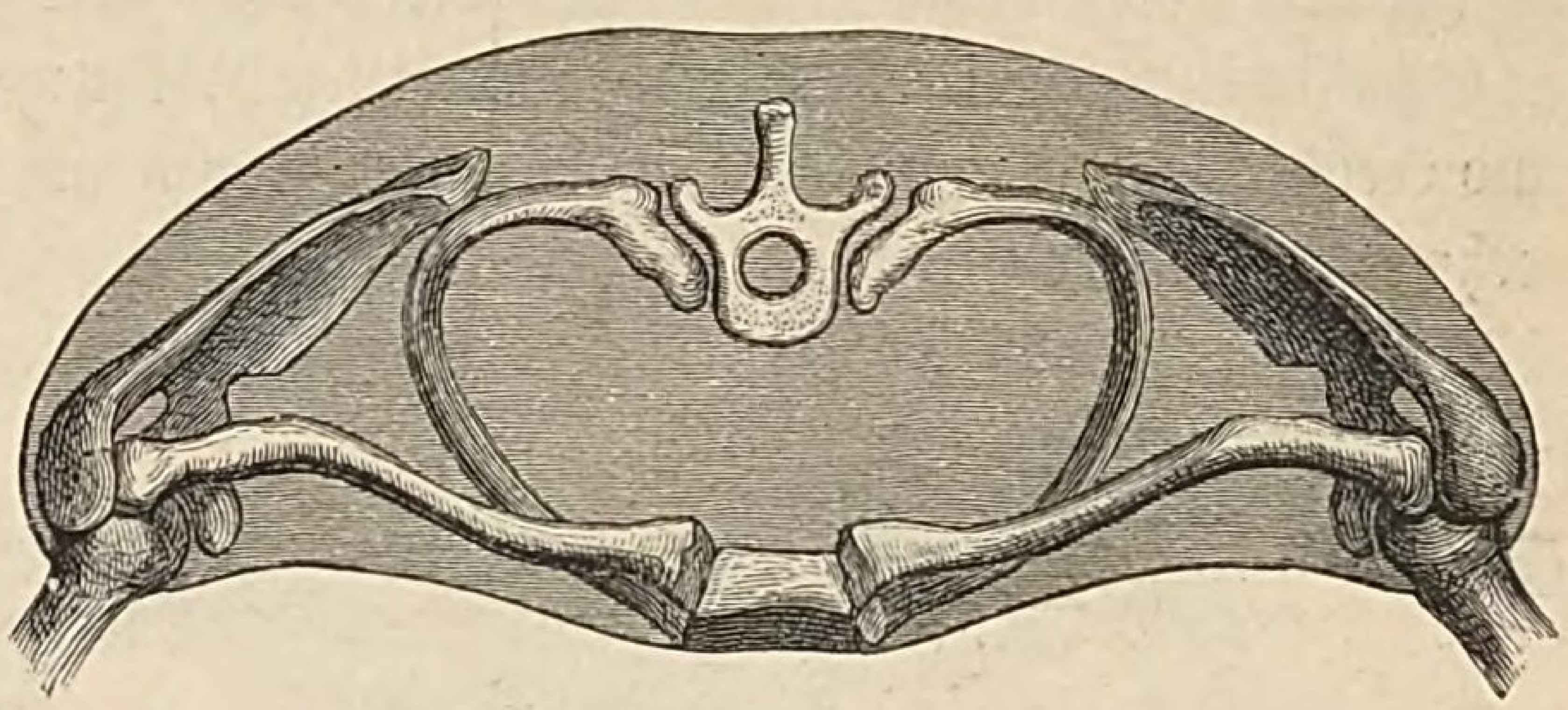
Eine große Anzahl von Säugetieren, die vierfüßigen Säugetiere im strengen Sinne des Wortes: die Wiederkäuer, Einhufer, Dickhäuter und vielleicht auch ein Teil der Raubtiere, benutzen die vorderen Extremitäten fast nur als Stütz- und Ortsbewegungsorgane. Bei allen Säugetieren, mit Ausnahme des Menschen, bleibt den Vordergliedern als erste Aufgabe die, als Ortsbewegungsorgane zu dienen; es verbindet sich aber bei sehr vielen damit eine zweite Aufgabe, wobei sie als Greiforgane und Waffen benutzt werden, und daß diese zweite Seite der Thätigkeit keinem Säugetier vollkommen abgeht, ist bekannt. Der Löwe gebraucht seine Vorderbeine nicht nur zum Gehen, er schlägt auch mit der Tatze seine Beute nieder und hält sie mit beiden, während er sie mit den Zähnen zerfleischt. Das Eichhörnchen, welches so flink mit seinen vier Beinen zu laufen versteht, benutzt die Vorderbeine und ihre Endglieder als Greiforgane, mit denen es die Nüsse hält und zum Maule bringt. Bei den Springmäusen und Känguruhs tritt diese Funktion der Vorderglieder noch auffallender zu Tage. Die fliegenden Säugetiere wie die Fischsäugetiere benutzen dagegen die Vorderglieder so gut wie die oben als „vierfüßigen" bezeichneten fast ausschließlich zur Ortsbewegung des Körpers, Flügel und Flossen sind dabei ziemlich gleich ungeschickt, als Greiforgane zu dienen. Ein eigentümliches Verhältnis tritt bei den Affen auf; hier wird, wenigstens bei den menschenähnlichen Affen, die Thätigkeit des Greifens der Vorderglieder weitaus die überwiegende, sie dienen nur noch zeitweilig als eigentliche Stützorgane des Körpers bei dem gelegentlichen Laufen der Tiere auf dem Boden. Aber trotzdem bleiben auch bei dem Affen die Arme mit ihren Vordergliedern der Hauptsache nach Ortsbewe-


Arm und Hand der Fledermaus.


Skelet des Armes und der Flosse des Delphins.

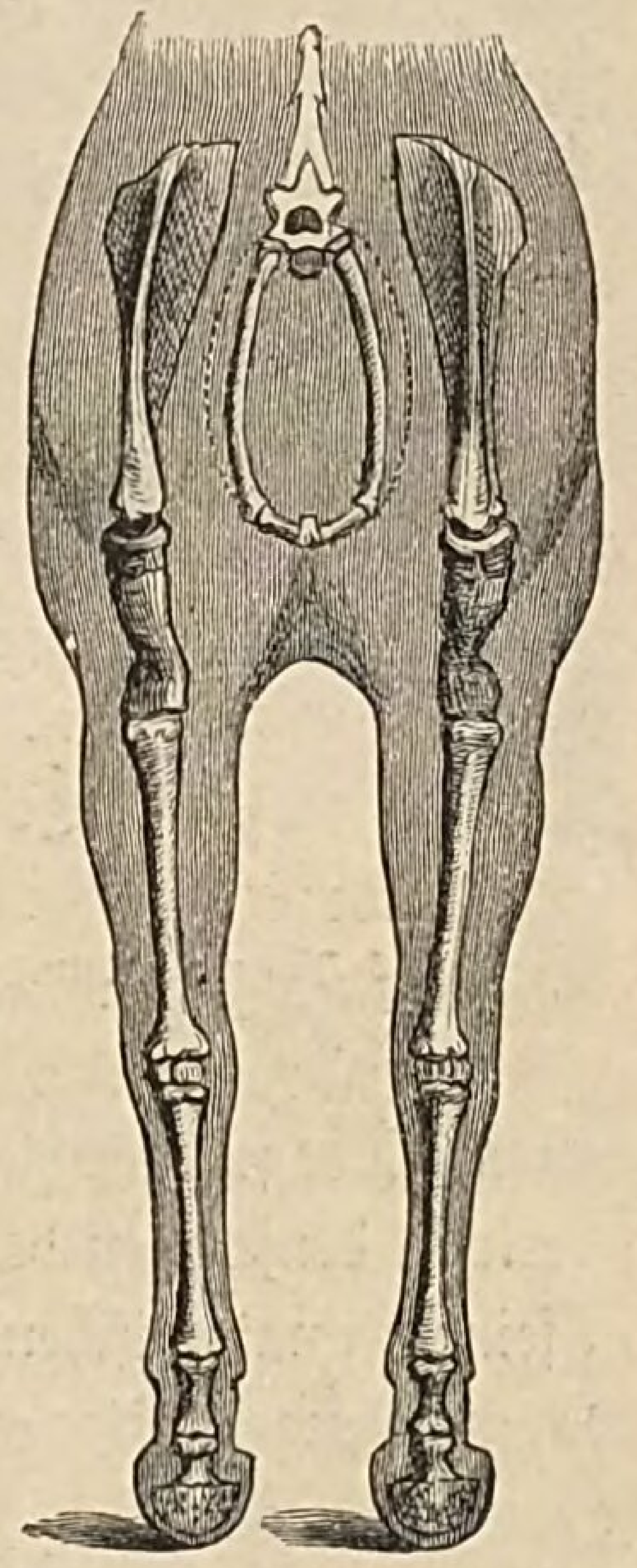
gungsorgane des Körpers beim Klettern. Die Vordergliedmaßen des Affen wie des Menschen sind Greiforgane, aber bei dem Affen fällt ihnen als Hauptaufgabe die Ortsbewegung des Körpers beim Klettern zu, während sie von dem Menschen, von der Aufgabe, als Ortsbewegungsorgane zu dienen, normal vollkommen befreit, lediglich zu den speziell als „Hantierungen" bezeichneten Thätigkeiten gebraucht werden. Auch der Affe bedient sich zu gewissen „Hantierungen" seiner Vorderglieder (aber auch der Hinterglieder) und ist im stande, durch Dressur diese Fähigkeit in hohem Grade auszubilden. Ebenso kann der Mensch lernen, seine Vorderglieder zu all dem verschiedenen Gebrauch zu be-

nutzen, den das Säugetier von ihnen macht. Der Jongleur läuft auf allen vieren, wir können ihn sogar, die Beine in die Luft erhoben, allein auf den Händen hinlaufen sehen; wir lernen schwimmen und dabei die Vorderextremitäten im Sinne von Flossen gebrauchen; wir lernen klettern und benutzen dabei die Hände und Arme, ähnlich wie die Affen, als Ortsbewegungsorgane des Körpers; es unterliegt keinem Zweifel, daß der Mensch, wenn es einmal ein allgemeineres und dauerndes Bedürfnis unweigerlich verlangen würde, obgleich nicht ohne gewisse technische Beihilfen, auch wie eine Fledermaus würde fliegen lernen können. Der Grund für diese Allseitigkeit der Fähigkeiten liegt darin, daß der Mensch in dem Bau seiner Vorderglieder die bei den Säugetieren zum Teil einzeln sich findenden Baueinrichtungen vereinigt. Die Flosse eines Delphins, der Flügel einer Fledermaus, das Vorderbein eines Löwen, eines Pferdes, der Arm des Affen und der Arm des Menschen sind so verschieden in ihren Funktionen wie Schwimmen, Fliegen, Laufen, Klettern und tausend kunstvolle Verrichtungen, und doch ist die Zusammensetzung im Prinzip die gleiche, die einzelnen einander entsprechenden Teile nur für die verschiedenen Aufgaben modifiziert (s. die Abbildungen, S. 468, 469 und 470).



Schultergürtel des Menschen.

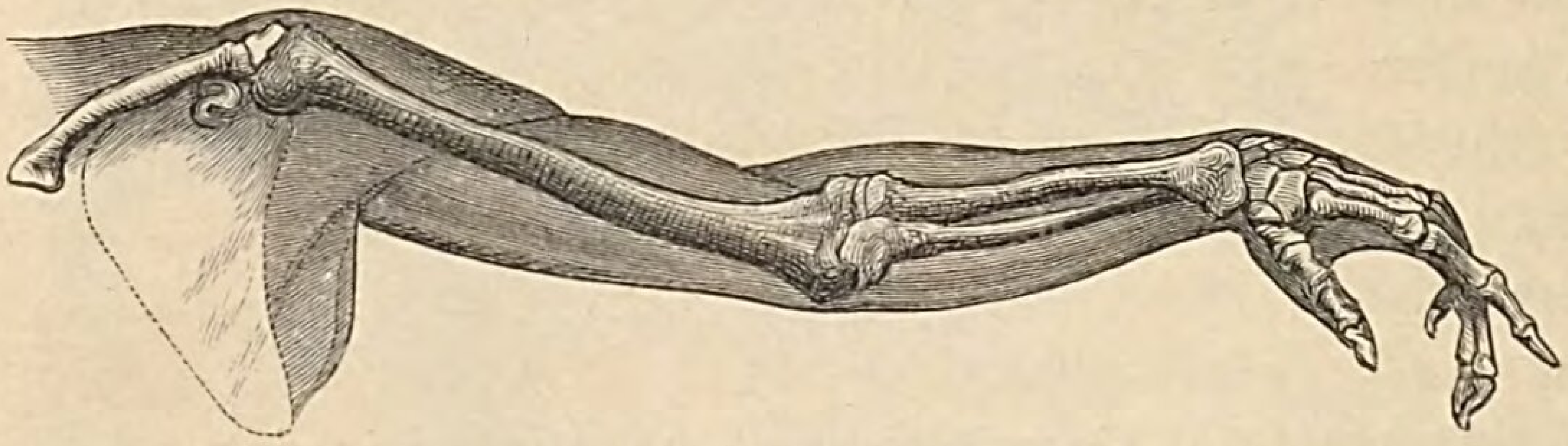
Die freie Beweglichkeit der Menschenhand beruht, wie unsere vorausgehenden Betrachtungen lehrten, zum Teil wesentlich auf der freien Beweglichkeit des Armes. Die letztere ist schon bedingt durch die Art der Befestigung des Schultergürtels, beim Menschen aus Schulterblatt und Schlüsselbein bestehend, mit dem Rumpfe (s. obenstehende Abbildung). Die Schulterblätter, welche die Seitenflächen des Rückens einnehmen, stehen mit dem Skelet nur durch die Schlüsselbeine in beweglicher Gelenkverbindung, sonst ist ihre Verbindung mit dem Rumpfe nur durch Muskeln hergestellt. Das Schlüsselbein selbst verbindet sich mit dem Skelet nur an einer kleinen Stelle, an dem oberen Ende des Brustbeins, und zwar in einem beweglichen Gelenk; dadurch erhält das Schulterblatt und damit auch der an ihm eingelenkte Arm seine große Beweglichkeit in jeder Richtung. Von besonderer Bedeutung ist dabei das Schlüsselbein, das zwischen Brustbein und Schulterblatt als ein Stützbalken oder Strebepfeiler hinläuft, welcher das Gelenk zwischen Schulter und Oberarm weit vom Leibe entfernt hält und dadurch nicht nur die Brust verbreitert, sondern dem Oberarm auch eine weit größere Beweglichkeit sichert. Bei allen Säugetieren, welche ihre vorderen Extremitäten wesentlich nur zur Ortsbewegung benutzen, fehlt das Schlüsselbein ganz, und damit sinkt, z. B. beim Pferde, das Schulterblatt vom Rücken, wo es bei dem Menschen liegt, an die Seite des flachen Rumpfes herab (s. obenstehende Abbildung). Bei den Affen und fliegenden Säugetieren ist das Schlüsselbein wie bei dem Menschen entwickelt und fehlt auch gewissen anderen Säugetieren nicht. Am Oberarmbein des Menschen ist durch das Kugelgelenk in der Schulter eine denkbar freie Beweglichkeit hergestellt, bei den übrigen Säugetieren ist diese Beweglichkeit, den verschiedenen Anforderungen entsprechend, modifiziert, mehr oder weniger

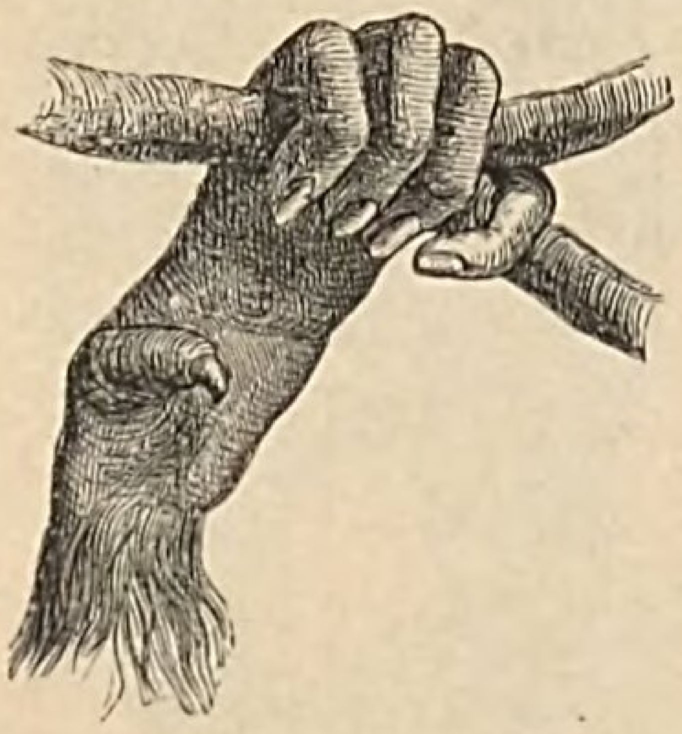


Schultergürtel und Vorderbeine des Pferdes.

beschränkt, und sogar bei den menschenähnlichen Affen fanden wir das Oberarmgelenk etwas weniger frei beweglich als bei dem Menschen.

Zur Beweglichkeit in der Schulter kommt bei dem Menschenarm die Beweglichkeit im Ellbogengelenk, welches nicht nur Beugung und Streckung, sondern auch Drehung der beiden Vorderarmknochen umeinander in der Längsrichtung gestattet, wodurch die am Vorderarm befestigte Hand mit ihrer Fläche volle Kreisbewegungen um ihre Längsachse zu beschreiben vermag (s. untenstehende Abbild.). Bei den Säugetieren, bei welchen die vordere Extremität bloß Stütze und Gehbewegungsorgan ist, fehlt dieses Drehvermögen; beide Knochen verschmelzen sogar häufig mehr oder weniger zu einem einzigen. Besonders einfach erscheint bei den eigentlichen Vierfüßern das Handskelet. Wir unterscheiden bei den Säugetieren wie bei dem Menschen Handwurzel, Mittelhandknochen und Fingerknochen, aber wir sehen dort, wo die Hand nur als Stütze zu wirken hat, vielfach die Zahl der Finger vermindert; so haben z. B. die Rinder nur zwei, die Pferde sogar nur noch einen Finger ausgebildet, an dem sich aber die drei Glieder noch unterscheiden lassen (s. Abbild., S. 469, unten). Aber wenn auch alle fünf Finger vorhanden sind, so wird doch das Glied erst zu einer wirklichen Hand, d. h. zu einer fassenden Zange, durch den frei beweglichen, den übrigen Fingern gegenüberstellbaren Daumen. Fehlt diese freie Beweglichkeit, so nennen wir das Organ nicht Hand, sondern Pfote. Nur der Mensch und die Affen haben an ihren vorderen Gliedmaßen wahre Hände mit gegenüberstellbaren Daumen. „Der Daumen der Menschenhand“, sagte der berühmte Anatom und Anthropolog A. Ecker, „verdankt seine große Bedeutung namentlich dem oft erwähnten Umstande, daß sein Mittelhandknochen sehr beweglich an seinem Handwurzelknochen eingelenkt ist. Durch eine Anzahl besonderer Muskeln beweglich, kann er den anderen Fingern gegenübergestellt oder von der übrigen Hand weit abgezogen werden und ist dabei einer Kraftentwickelung fähig, die der der übrigen Finger zusammengenommen fast gleichkommt; er ist der stärkste und kräftigste und deshalb sowie wegen seiner selbständigen Bewegung der wichtigste Finger. Der Daumen der menschlichen Hand übertrifft denjenigen der Hand aller Affen, selbst der höchsten, nicht nur an Länge, sondern auch in seinem anatomischen Bau. Der Affenhand fehlt durchweg (?) ein wichtiger Muskel, der lange Daumenbeuger (Flexor pollicis longus), der offenbar wesentlich zu dem vielseitigen und umfassenden Gebrauch des Daumens und somit der ganzen Hand des Menschen beiträgt.“ Bei den Affen erscheint nach Ecker der Zeigefinger kürzer als der Ringfinger, bei dem Menschen sind entweder beide Finger gleichlang oder an „schönen“ Händen der Zeigefinger länger als der Ringfinger, nicht selten findet sich aber auch das gleiche Verhältnis wie bei den Affen.


Arm und Hand des Menschen.


Hand des Orang-Utan.
Vgl. Text, S. 271.

Von den Mittelhandknochen des Menschen ist der des Daumens am beweglichsten, dann folgt im Grade der Beweglichkeit der des kleinen oder fünften Fingers, während Zeige- und Ringfinger die Mitte halten, alle sind aber im Verhältnis zum Daumen in ihrer Beweglichkeit außerordentlich beschränkt. „Infolge dieser Einrichtung“, fährt Ecker fort, „kann durch das Auswärtsrücken der Seitenwände der Hand die Fläche derselben zu einem kugelschalenförmigen Hohlraum (dem primitivsten Trinkgefäß, dem sogenannten Becher des Diogenes) umgewandelt werden, und

die gebogenen Finger können eine Kugel (z. B. eine Billardkugel) vollkommen umgreifen, indem ihre Spitzen in einer Ebene liegen, welche eine Tangente dieser Kugelfläche ist, eine Bewegung, welche z. B. die Affenhand keineswegs in dieser Weise ausführen kann, während diese, die Affenhand, mit ihrem zu kurzen Daumen als ein vierfingeriges Haken- oder Klammerorgan trefflich geeignet ist, einen Cylinder, also z. B. einen Baumast, zu ergreifen, wie die Abbildung, S. 470, unten, deutlich zeigt. Was die Beweglichkeit der Finger selbst betrifft, so haben nach dem Daumen der Zeigefinger und der kleine Finger am meisten die Fähigkeit, sich gesondert von den übrigen zu bewegen, wozu sie vor allem durch den Besitz besonderer Muskeln befähigt werden. So hat z. B. der Zeigefinger einen besonderen Streckmuskel, der ihm leicht gestattet, allein, getrennt von den übrigen, ausgestreckt zu werden, eine Bewegung, die ihm ja eben seinen Namen Zeigefinger (Indicator) verschafft hat. Aus dieser Verwendung und aus dem Umstande, daß dieser gesonderte Muskel unter den Affen selbst dem Orang-Utan und Schimpanse fehlt (nur der Gorilla hat denselben, jedoch sehr schwach ausgebildet), ist man wohl berechtigt, zu schließen, daß dieser Muskel, wie Bischoff richtig bemerkt, mit den gestikulatorischen und pantomimischen Bewegungen der Hand, also mit Begriffbildung und Sprachvermögen, in einem gewissen ursachlichen Zusammenhang stehe, und man darf daher wohl mit Bischoff behaupten, daß der Besitz dieses Muskels einen spezifischen menschlichen Charakter bilde, wenn auch der Name ‚Humanitätsmuskel‘, den man ihm gegeben hat, etwas zu emphatisch klingt."

Wir müssen es uns versagen, auf die Muskulatur der Hand, welche die tausendfältigen Bewegungen dieses für den Menschen nach dem Gehirn wichtigsten Organs hervorbringt, näher einzugehen; nur einzelne allgemeine Verhältnisse seien erwähnt. Wir haben schon oben darauf hingewiesen, daß „trotz der sonstigen Scheu der Natur vor unnötiger Kraftvergeudung" namentlich an den Muskeln des Armes der Ansatz der Muskeln weniger dem Prinzip einer vollen Ausnutzung der den Muskeln innewohnenden Kraft als dem der Geschwindigkeit und Allseitigkeit der Bewegungen entspricht. Namentlich die letztere wird wesentlich durch die Schlankheit des Armes und der Hand mit den Fingern begünstigt, und gerade dieser finden wir bei dem anatomischen Bau derselben im Gegensatz zu einer möglichsten Kraftausnutzung in auffallender Weise Opfer gebracht. Die Schlankheit des Gesamtgliedes wird dadurch erreicht, daß die Muskeln im mechanischen Sinne gewissermaßen ungünstige Ansatzverhältnisse am Knochen erhalten. Wir dürfen hier auf das schon oben in dieser Beziehung Beigebrachte verweisen, wo wir auch die Methoden dargelegt haben, welcher sich die Natur bedient, um den zum Teil nur scheinbar ungünstigen Ansatz der Muskeln durch das Hinlaufenlassen ihrer Sehnen über „Rollen" oder durch jene senkrecht über die Längenachse der Knochen sich erhebenden Knochenvorsprünge, an denen der Muskelansatz stattfindet, für die mechanische Muskelwirkung zu verbessern. An dem Arme und der Hand sehen wir auch, daß gleichsam zur Vermeidung eines zu großen, die Beweglichkeit beeinträchtigenden Volumens des Gliedes die Zugkraft von Muskeln, die ein relativ bedeutendes Volumen, einen großen Querschnitt, besitzen, durch lange und dünne Sehnen auf entfernte Knochen übertragen wird. Die fleischigen Abschnitte der Mehrzahl der Muskeln, welche die Hand und ihre Finger in Bewegung setzen, liegen am Vorderarm, und nur dünne Sehnenschnüre verlaufen von hier aus zu den durch sie zu bewegenden Skeletabschnitten, ein Verhältnis, welches sich am Arme des Menschen in höherem Grade als an dem der Affen durch eine konische Verjüngung gegen die Hand zu ausspricht. „Wären", sagt A. Ecker, „alle Muskeln, welche die Hand bewegen, an dieser selbst angebracht, so befände sich diese in einem wahren embarras de richesse, d. h. vor lauter Muskeln wäre die Hand so plump geworden, daß sie kaum zu bewegen wäre." Bei der auf S. 470 gegebenen Abbildung der einen Ast umgreifenden Hand des Orang-Utan fällt der Unterschied in der Gebrauchsweise der Affenhand von der Menschenhand recht deutlich in die

Augen. Der Daumen der Affenhand ist so klein gegenüber ihren übrigen gegen die Handfläche stark gebogenen Fingern, daß bei dem Ergreifen des Astes hauptsächlich nur die letzteren als ein zum Klettern außerordentlich geschicktes hakenartiges Organ wirksam werden. Bei dem Schimpanse und Gorilla ist zwar der Daumen der Hand etwas menschenähnlicher, aber doch nur der Mensch gebraucht bei dem Umklammern dünnerer cylindrischer Körper den Daumen als ein der übrigen Hand an Stärke der Wirkung gleichkommendes Zangenglied. Die Hand des Menschen wird, wenn irgend möglich, als Zange, die auch der menschenähnlichsten Affen vielfach als gekrümmter Haken gebraucht. Daß es sich hierbei aber nicht um einen absoluten Gebrauchsunterschied handelt, bedarf bei der vielfach hervorgehobenen allgemeinen Bauübereinstimmung zwischen Menschen- und Affenhand keiner besonderen Hervorhebung; damit stimmt auch das Ergebnis der vergleichenden Untersuchung der Handmuskeln überein, welche auch neuerdings wieder E. Thyroff, der unter Rüdingers Leitung arbeitete, trotz mancher charakteristischen Unterschiede doch bei Menschen und Anthropoiden außerordentlich ähnlich fand.

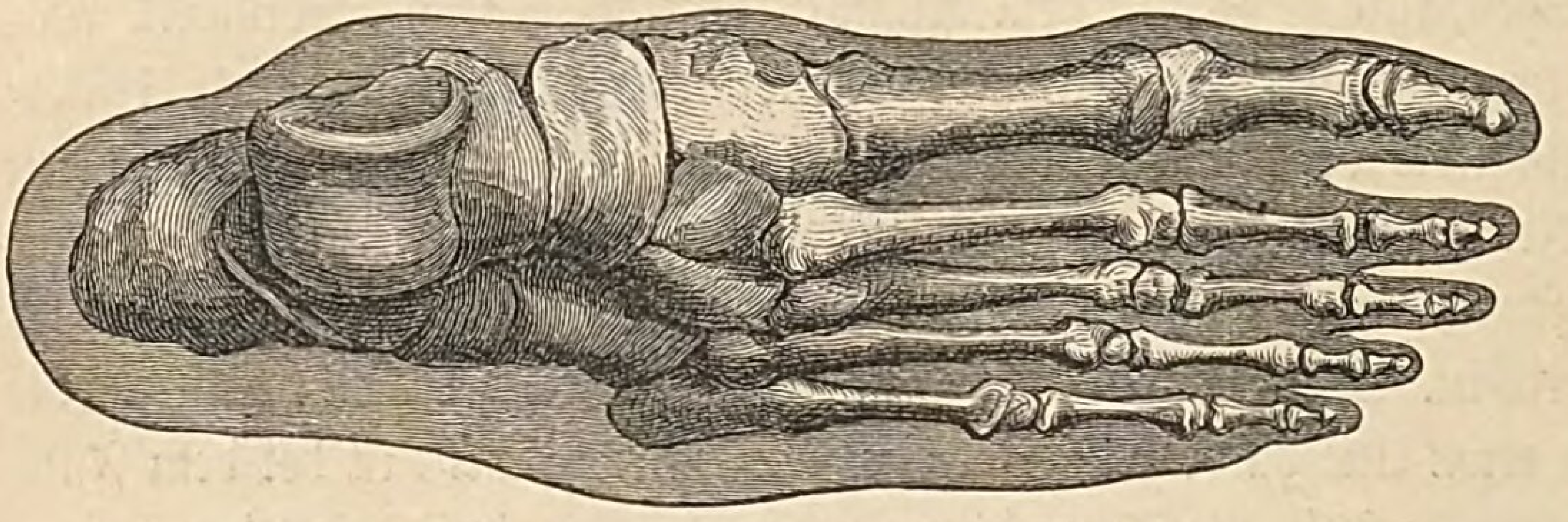
Der schon erwähnte berühmte Arzt und Anatom der antik-klassischen Periode, Claudius Galenus, der unter den Kaisern Mark Aurel und Commodus in Rom praktizierte, sagte über die menschliche Hand: „So wie der menschliche Körper unbewaffnet in die Welt tritt, so ist auch seine Seele ohne bestimmten Kunsttrieb. Als Ersatz für die Nacktheit und Wehrlosigkeit seines Körpers erhielt er die Hand, und für seine ihm angeborene Unkunde erhielt er den Verstand. Mit diesen ausgestattet, bewehrt er seinen Körper und schmückt er seine Seele mit allen möglichen Fertigkeiten. Und weil es besser für ihn ist, alle Waffen und alle Fertigkeiten zu benutzen, so wurde ihm keine von diesen von Geburt an verliehen. Wie er den Verstand als das Vermögen aller Vermögen vor allen Tieren erhalten, so ist ihm auch die Hand als das Werkzeug aller Werkzeuge (organum ante organa) verliehen worden. Sieh einmal hin auf alle die Körper, die ein Mensch zu ergreifen vermag, vom größten, wozu er beide Hände braucht, bis zum kleinsten, einem Hirsekorn, einem feinen Dorn oder einem Haar, und sieh die Hand jeden dieser Körper für sich fassen, jedesmal wirst du finden, daß die Hand so genau zum Gegenstande paßt, als ob sie gebaut wäre, um nur ihn zu fassen.“ Und wie fein ist dabei das Empfindungsvermögen der Hand durch Tastsinn und nicht weniger durch das feinste Muskelgefühl und Kraftschätzungsvermögen ausgebildet! Sie wird für den Blinden zum Auge, für den Stummen zur Zunge, und für uns alle ist sie das Organ, welches uns sicherer als eins der sogenannten höheren Sinnesorgane über Lage, Oberfläche, Gestalt, Größe und Zahl der umgebenden Dinge der Außenwelt unterrichtet; so konnten die Worte „begreifen“ und „erkennen“, wie Ecker bemerkt, gleichbedeutenden Sinn erhalten.

Die hohe Ausbildung der Hand als Werkzeug und als Sinnesorgan erhebt den Menschen, verbunden mit der überwiegenden Gehirnentwickelung, auf seine hohe Stufe. Diese von keinem Tier erreichte vollendete Entwickelung der Hand des Menschen ist aber bedingt durch die korrespondierende Entwickelung des Fußes, so daß es zwar paradox, aber nicht unrichtig ist, wenn Burmeister in seinen „Geologischen Bildern“ sagt, es sei eigentlich der Fuß, dem der Mensch seine höhere Stellung verdanke. Bei dem Menschen ist zwischen Hand und Fuß eine vollkommene Arbeitsteilung erreicht, der Fuß ist im wesentlichen lediglich und allein Ortsbewegungsorgan, die Hand lediglich Greiforgan. Bei den Säugetieren, auch bei den Affen, dienen die vorderen wie die hinteren Extremitäten auch der Ortsbewegung. Bei den wahren „Vierfüßern“ sowie den Fisch- und fliegenden Säugetieren ist die Ortsbewegung auch für die vorderen Extremitäten fast die einzige, aber auch bei jenen Säugetieren, welche die vorderen Extremitäten gelegentlich als Greiforgane benutzen, ist die Ortsbewegung auch für diese die wichtigste Aufgabe. Von dieser Aufgabe der Ortsbewegung des Körpers ist die Menschenhand durch die Leistungen des

Menschenfußes vollkommen befreit. „Die menschliche Hand ist“, sagt Ecker, „nur deshalb ein so vollendetes Greiforgan, so ganz ‚Hand‘, weil der menschliche Fuß ein so vollendetes Stütz- und Ortsbewegungsorgan, so ganz ‚Fuß‘ ist. Diese Vollendung des menschlichen Fußes macht erst den aufrechten Gang möglich, dieser aber erst die vollkommen freie Verwendung der Hand zu anderen, höheren Zwecken.“

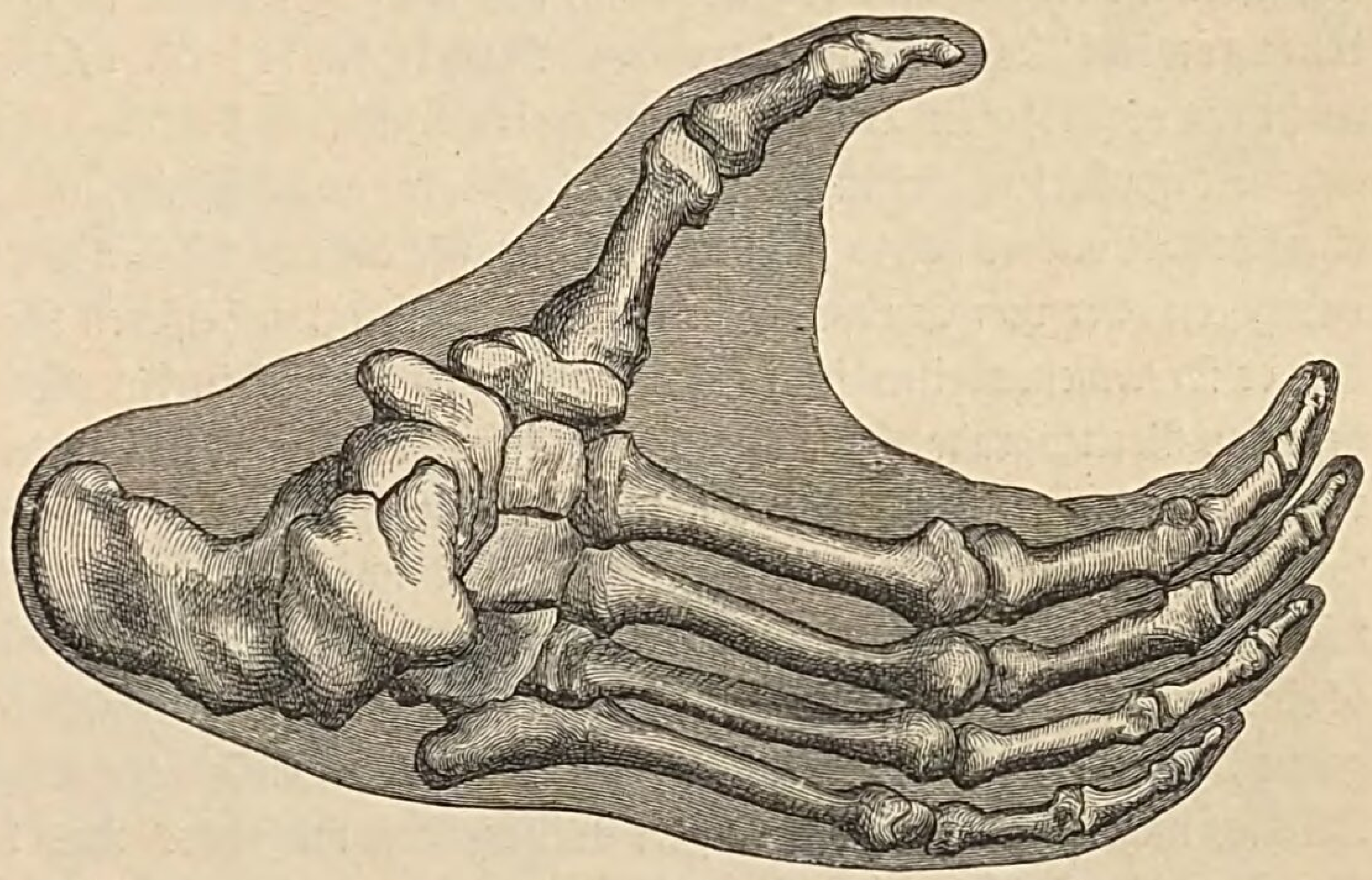
Während bei dem Bau des Armes und der Hand alles auf möglichste Beweglichkeit angelegt ist, zielt bei dem Bau des Menschenbeines und -Fußes alles auf möglichste Festigkeit dieser Standsäulen des Körpers ab. Trotzdem besteht eine wahre Bauübereinstimmung beider Extremitäten, die noch mehr bei niederen Säugetieren auffällt, bei denen die Aufgaben der vorderen und hinteren Extremitäten wenig voneinander abweichen. Die Hüftknochen, die den Beckengürtel bilden, an welchem wir den Oberschenkelknochen beim Menschen weit weniger beweglich als das Oberarmbein eingelenkt sehen, sind selbst mit dem Rumpfskelet unbeweglich verbunden. Dadurch wird schon die Gesamtbeweglichkeit der Beine bedeutend beschränkt. Die beiden Unterschenkelknochen sind starr miteinander verbunden und ruhen auf dem als feste Stütze konstruierten Fuße. Das Fußskelet des Menschen (s. Abbildung, S. 474) ist ein „aus festen Werkstücken“ konstruiertes Gewölbe, ganz nach Art der von der Baukunst hergestellten Gewölbe gebaut und geeignet, eine große Last zu tragen. Während bei der Hand die Handwurzel den kleinsten, die Finger den größten Abschnitt, etwa eine halbe Länge der ganzen Hand, bilden, ist bei dem Fuße die Fußwurzel der bei weitem größte Teil, die Zehen dagegen der kleinste, ein Fünftel der ganzen Fußlänge. Das Fußgewölbe, das, nach der Beschreibung Eckers, gleichsam zwei Bogen, einen höher gespannten am inneren und einen flacheren am äußeren Fußrande, bildet, ruht mit drei sogenannten Fußpunkten auf dem Boden, mit dem Fersenhöcker, dem Ballen der großen und dem Ballen der kleinen Zehe. Den Scheitel des Gewölbes bildet der zweitgrößte Knochen der Fußwurzel, das Sprungbein, und auf diesem ist senkrecht zur Längsachse des Fußes, wie die Säule eines dreibeinigen Tisches, der Unterschenkelknochen eingelenkt. Auf diesem Gewölbscheitel ruht somit die ganze Last des Körpers und verteilt sich naturgemäß auf die drei genannten Fußpunkte. Die Funktion der Zehen des Menschenfußes ist der Hauptsache nach nur Stand- und Ortsbewegung. Der Mittelfußknochen der großen Zehe bildet den vorderen Pfeiler des Fußgewölbes am inneren Fußrande; um dieser Aufgabe genügen zu können, steht er mit den übrigen Mittelfußknochen in fester Verbindung. Die bei dem Affenfuß vorhandene freie Beweglichkeit der großen Zehe, „wie am entsprechenden Knochen der Hand, und Gewölbbildung des Fußes sind daher ganz unvereinbare Dinge“. Von dem Endgliede der hinteren Extremitäten der meisten „Vierfüßer“ unterscheidet sich der Fuß des Menschen schon dadurch, daß erstere der Mehrzahl nach gar nicht mit der ganzen Sohle des Hinterfußes, sondern, wie am Vorderfuße, nur mit den Zehen auftreten, und zwar sind von diesen meist nur einzelne, bei den pferdeartigen Tieren sogar nur eine einzige entwickelt. Auch Mittelfuß und Fußwurzel stehen bei diesen Tieren mehr oder weniger senkrecht. Dagegen liegt der menschliche Fuß seiner ganzen Länge nach auf dem Boden auf. Doch gibt es eine Anzahl von Säugetieren, im Gegensatz zu den Zehengängern als Plattfußgänger oder Sohlengänger bezeichnet, welche, wie z. B. alle die verschiedenen eigentlichen Bärenarten, mit der ganzen Sohle des Hinterfußes auftreten. Der Bär hat daher die meiste Ähnlichkeit mit einem auf allen vieren gehenden Menschen, und sein Plattfuß gewährt ihm die Möglichkeit, sich mit Leichtigkeit (als Tanzbär) einige Zeit auf den Hinterfüßen aufrecht zu erhalten und schrittweise zu gehen. Doch ist auch der Unterschied des Bärenfußes von dem des Menschen sehr groß: es fehlt ihm die Gewölbbildung, die mit Krallen bewehrten Zehen sind verhältnismäßig länger, die „große“ Zehe nicht die längste, sondern die kürzeste Zehe, die Ferse ist kurz, der Fuß im ganzen platt und breit: der Typus einer „Tatze“.

Um den Unterschied des Endgliedes der Hinterextremität der Affen von dem Fuße des Menschen scharf präzisieren zu können, erinnern wir uns noch einmal an die Haupteigenschaften des menschlichen Fußes: die beiden Menschenfüße sind normal die ausschließlichen und einzigen Ortsbewegungsorgane des Körpers; der Menschenfuß besitzt allein und ausschließlich die bei keinem anderen Säugetier in dieser Weise existierende Gewölbbildung; die große Zehe und namentlich ihr Mittelfußknochen ist stark entwickelt, und letzterer steht in fester Verbindung mit den übrigen Mittelfußknochen, so daß er eine feste Stütze, den vorderen Hauptpfeiler des Fußgewölbes, bildet; die übrigen Zehen sind kurz; die Ferse ist stark entwickelt, da sich an sie die Sehne der für den aufrechten Gang wichtigen Streckmuskeln des Fußes, die Achillessehne, ansetzt. Bei den Affen, und zwar gerade auch bei den höchsten, teilt sich die hintere Extremität mit der vorderen in die Aufgabe der Ortsbewegung des Körpers, und zwar steht die hintere Extremität im ganzen an Stärke der Entwickelung und in ihrem Gebrauch als Ortsbewegungsorgan hinter den Armen und Händen der Affen zurück; die „große“ Zehe des Affenfußes ist ein beweglicher Hinterdaumen, der, den anderen Zehen gegenüberstellbar wie an der Hand, dem Affenfuß den Charakter eines **Greiforgans** verleiht. Dieser Bestimmung entspricht es auch, daß die Zehen sich der Gestalt der Finger annähern, wie diese lang und gekrümmt sind; damit zusammenhängend, vermissen wir am Affenfuß die für den Menschenfuß typische Gewölbbildung (s. Abbildung, S. 475). **Aeby** benennt den Fuß des Menschen „Stehfuß“, den des Affen „Kletterfuß“. **Huxley** hat den Affenfuß als „Greiffuß“ bezeichnet, A. **Ecker** als „Hinterhand“ oder wohl noch besser „Fußhand“. In dieser letzteren Bezeichnung ist ausgedrückt, daß der Affenfuß morphologisch als Endglied der hinteren Extremität im allgemeinen Bauprinzip dem Menschenfuß entspricht, daß er aber, den Lebensaufgaben der Affen entsprechend (durch den gegenüberstellbaren Daumen, die langen, gekrümmten Finger, eine allseitige größere Beweglichkeit und den Mangel der Fußgewölbbildung), **physiologisch** als eine Hand bezeichnet werden darf. Wie die menschliche Hand die verschiedenartigen Thätigkeiten nachzuahmen vermag, welche die Tiere von ihren vorderen Extremitäten verlangen, so vermag das auch der Menschenfuß, obgleich in geringerem Grade. Trotzdem ihm die Gegenüberstellbarkeit des Fußdaumens vollkommen und immer abgeht und seine Zehen kurz sind, kann er doch auch als ein Greiforgan dienen. Er bleibt in dieser Beziehung aber trotz aller möglichen Steigerung seiner Beweglichkeit, wie z. B. bei japanischen Seiltänzern und Fußkünstlern, deren Füße G. **Lucae** nach dieser Hinsicht untersuchte, oder bei Menschen, die ohne Arme und Hände geboren sind, wie solche **Hans Virchow** und ich wissenschaftlich beobachtet haben, weit hinter dem Affenfuß zurück, der dem Tiere als eine wahre, in Beziehung auf den Daumen sogar ganz besonders wohl entwickelte Hand dient. Der lebhaft geführte Streit, ob man die Affen im Gegensatz zu dem Menschen, dem Zweihänder, als Vierhänder bezeichnen dürfe, reduziert sich also darauf, ob man allein die morphologische allgemeine Bauübereinstimmung oder, wie das ganz im allgemeinen in der Zoologie bisher üblich ist, die physiologische Leistungsfähigkeit: Flosse bei den Fischsäugetieren, Flügel bei den fliegenden Säugetieren, Hand bei Menschen und Affen, als Bezeichnungsprinzip gelten lassen will. Es ist ein Wortstreit, der für die eigentlich wissenschaftliche Betrachtung von sehr geringem Werte ist.



Fußskelet des Menschen. Vgl. Text, S. 473.

Von den für den Menschen, d. h. für den aufrechten Gang, charakteristischen Baueigentümlichkeiten der unteren Extremität ist vor allem noch die bedeutende Länge des Oberschenkels zu erwähnen, beruhend auf der entsprechenden Länge des Oberschenkelbeines; dann die fast drehrunde Gestalt des Mittelstückes des letzteren und seine starke Streckung im Hüftgelenk, während bei den meisten Säugetieren, auch bei den höchsten Affen, die Oberschenkelbeine viel kürzer, in ihrem Mittelstück platt und im Hüftgelenk gebeugt sind. Ebenso charakteristisch sind die starke Streckung im Kniegelenk und die senkrechte Abbiegung des Fußes von der Hauptachse des Beines. Im innigsten Zusammenhang mit dieser Streckung und dem aufrechten Gange steht die starke Entwickelung der Hüft- und Gesäßmuskeln und der Wadenmuskulatur, die auch bei den höchststehenden Affen viel weniger ausgebildet sind. Aeby hat die verschiedene Ausbildung der Muskeln am Unterschenkel des Menschen und der Affen quantitativ bestimmt; die Fleischmasse ist bei beiden im Verhältnis zur Gesamtmuskulatur des Unterschenkels, diese gleich 100 gesetzt, prozentisch verschieden verteilt.



Fußskelet des Gorilla.

Aebys Tabelle der Unterschenkel-Muskeln	Mensch Proz.	Schimpanse Proz.	Orang-Utan Proz.
I. Wadenmuskeln = Fußstrecker	57,2	35,6	27,8
(Triceps surae = Gastrocn. Soleus).			
II. Einwärtsdreher des Fußes (Supinatoren = Tibialis anticus u. posticus)	17,6 } 28,0	21,8 } 33,1	18,2 } 26,1
Auswärtsdreher des Fußes (Pronatoren = Peroneus longus und brevis)	10,4 }	11,3 }	7,9 }
III. Streckmuskeln der Zehen	7,0 } 14,8	8,4 } 31,3	14,4 } 49,1
Beuger der Zehen	7,8 }	22,9 }	34,7 }

Die Muskeln für das Einwärts- und Auswärtsdrehen des Fußes sind bei dem Menschen und den menschenähnlichen Affen ziemlich gleich stark entwickelt, bei beiden überwiegen die Auswärtsdreher, wie bei der Mehrzahl der Säugetiere. Dagegen macht sich die mächtige Entwickelung der Wadenmuskeln bei dem Stehfuß des Menschen gegenüber ihrer geringen Entwickelung bei dem Kletterfuß der Affen sehr auffällig bemerklich, 57 : 36 : 28; der Orang-Utan ist für das Stehen noch schlechter mit Muskeln ausgerüstet als der Schimpanse. Am auffallendsten sind die Unterschiede in der Muskulatur namentlich für Beugung, aber auch in geringerem Maße für Streckung der Zehen, worin die Affen weitaus den Menschen übertreffen. Während bei dem Menschenfuß die Muskeln für beide Bewegungen gleichmäßig schwach entwickelt sind, sehen wir bei den Affen beide Muskelgruppen im allgemeinen stärker entwickelt, vor allen aber die Beugemuskeln im Verhältnis von 7 : 23 : 35. Am Greif- und Klammerfuß des Affen sind also die Zehenbeuger drei- bis fünfmal stärker entwickelt als am Stehfuß des Menschen.

Einfluß von Klima und Rasse auf die Arbeitsleistungen.

Man hat vielfach die Meinung ausgesprochen und durch Anführung von Beobachtungen verschiedener Art zu stützen versucht, daß der europäische Mensch im allgemeinen kräftiger und leistungsfähiger sei als der Nichteuropäer. Auf der anderen Seite ist man nicht ohne Spott dieser Überhebung entgegengetreten, aber keine der beiden Parteien kann bis jetzt sich auf genügend genaue Beobachtungen berufen zur Erbringung eines allen wissenschaftlichen Anforderungen genügenden Beweises. Nur das ist gewiß, daß ein allgemeines, in Mittelwerten sich aussprechendes Übergewicht des Europäers an Muskelkraft sich keineswegs gegenüber allen außereuropäischen Völkern nachweisen läßt.

So sonderbar es klingt, wir sind bisher kaum im stande, aus den Angaben der Reisenden eine oder die andere sichere Zahl zu gewinnen für die Maximal-Arbeitsleistungsfähigkeit von Nichteuropäern oder von Europäern in anderen, namentlich heißeren Klimaten. Coulomb erwähnt, daß er Terrassenarbeiten französischer Soldaten sowohl in Frankreich als in Martinique, unter dem 20. Breitengrade, habe ausführen lassen, und daß dabei unter der dortigen hohen Temperatur, bei welcher die Arbeitenden in Wahrheit stets in Schweiß gebadet waren, höchstens halb so große Leistungen unter sonst gleichen Umständen wie unter 45° Breite zu erreichen gewesen seien. Eine Abnahme der mechanischen Leistungsfähigkeit der Europäer in heißen Klimaten scheint auch aus anderen Beobachtungen wahrscheinlich, doch sind die letzteren keineswegs genau genug, um nicht die berechtigtsten Zweifel an ihrer wissenschaftlichen Verwertbarkeit zuzulassen. Ob hier nicht zum Teil die geringere Willenskraft mitspielt? Aus den prächtigen Berichten von Dr. Nachtigal über seine Sudanreisen, welche er größtenteils zu Fuß und noch beschwert mit Flinte und manchem anderen Gepäck zurückgelegt hat, scheint hervorzugehen, daß die „mögliche Leistung" des Europäers in der hohen Temperatur keineswegs herabgesetzt ist, und zwar auch bei mangelhafter Nahrung und Wasserzufuhr. Wir finden bei Nachtigal mehrfach zehnstündige Tagemärsche verzeichnet, was an sich schon etwa einer Arbeitsleistung von ca. 300,000 Kilogrammmeter entsprechen würde.

Waitz hat eine Anzahl von Angaben zuverlässiger Reisenden zusammengestellt über mechanische Leistungen von Nichteuropäern, welche uns wenigstens einigermaßen über ihre mögliche mechanische Arbeitsleistung zu orientieren geeignet sind. Besonders wertvoll erscheinen Mitteilungen über tagelang dauernde Arbeitsleistung durch Gehen und Tragen von Lasten, wobei wir freilich schmerzlich eine Angabe über das Körpergewicht des Arbeitenden vermissen. Von den amerikanischen Indianern besitzen wir Angaben über staunenerweckende Leistungen durch Marschieren. Den 50 Lieues langen Weg von Pasco nach Lima legt nach Proctor ein Indianer in drei Tagen zu Fuß zurück. Ähnliches erzählt Tschudi von den Märschen der Indianertruppen im Kriege. Die Indianer von Peru, die sogenannten Postillione, welche aber zu Fuß gehen, legen oft in einem Tage 20 und mehr Leguas, also, da eine Legua nuova = 6,687 km, 134 km, zuweilen sogar 30 von Morgen bis Abend zurück. Die Indianer in Mittelamerika marschieren nach Legendres Angaben gewöhnlich 5—6 Lieues täglich mit einer Last von 6 Arrobas. Zu den größten und kräftigsten der Nordamerikaner gehören nach Nuttal die Osagen, welche bisweilen 60 engl. Meilen = 96 km in einem Tage zu Fuß zurücklegen. Roger Williams erzählt, daß die Indianer von Neuengland 80—100 engl. Meilen = 128—160 km weit in einem Tage und den folgenden Tag ebensoweit liefen. Nach Darwin können die Tahitier mit einer Last von 50 Pfund an jeder Seite = 45,4 kg den ganzen Tag zu Fuß gehen. Schon bei einer Marschzeit von acht Stunden im Tage würde diese Leistung bei mittlerem Schritt 330,000 Kilogrammmeter betragen.

Darwin gibt eine sehr lebhafte Schilderung von der anstrengenden Arbeit der in den Bergwerken von Chile arbeitenden Apires oder Hapiris, welche Tschudi als Indianer bezeichnet, und welche von außerordentlicher Körperkraft seien. Ihre gewöhnliche Last, die sie täglich zwölfmal aus einer Tiefe von 240 Fuß = 73 m heraufschleppen, beträgt nicht ganz 200 Pfund (91 kg). Nehmen wir das Körpergewicht der Arbeiter zu 70 kg und rechnen für das Leerhinabsteigen noch $^1/_{25}$ der Gesamtarbeitsleistung hinzu, so erhalten wir eine Tagesleistung von 157,077 Kilogrammmeter, während wir die Tagesarbeit europäischer Bergleute beim Herauftragen von Lasten aus dem Bergwerke nur zu 128—131,000 Kilogrammmeter bestimmen. Die Indianer übertragen sonach die europäischen Bergleute betreffs ihrer Leistungen beträchtlich. „Wo man den Versuch gemacht hat, hat sich gezeigt, daß der Indianer als Arbeiter einen sehr viel höheren Grad körperlicher Anstrengung zu ertragen vermag als der stärkste Europäer.“ — „In den Minen von Südamerika“, sagt Head, „habe ich die Indianer mit Werkzeugen arbeiten sehen, die unseren Bergleuten zu schwer waren, und sie Lasten tragen sehen, die niemand in England hätte tragen können. Ich berufe mich auf die Reisenden, welche auf ihren Schultern über den Schnee gekommen sind, ob sie im stande wären, ihnen das Gleiche zu erweisen, und wenn nicht, was kann komischer sein als ein zivilisierter Mensch, der auf den Schultern eines Mitmenschen reitet, dessen physische Kraft er zu verachten wagt.“

Um die Arbeitsleistung eines Menschen beim Gehen auf nahezu horizontalem Boden mit größerer Sicherheit berechnen zu können, bedarf es folgender Angaben: das Körpergewicht in Kleidern gewogen, die getragene Last, die in einer bestimmten kleinen Zeit gemachte Anzahl von Schritten, die Zeit, welche nach Abzug der Rast wirklich marschiert worden ist, und die Wegstrecke, welche im ganzen zurückgelegt wurde, woraus sich die Schrittlänge berechnen läßt. Diese Geh-Arbeit auf horizontalem Boden sollte auch der leicht aus erstiegener Höhe und Körpergewicht zu berechnenden Steigarbeit bei Erhebung des Körpers auf eine bestimmte Höhe, z. B. bei dem Ersteigen eines Berges, als Luftlinie noch zugerechnet werden. Solche für eine exakte Rechnung wirklich brauchbare Angaben fehlen aber leider bisher noch ganz und wären doch für die Wissenschaft von hohem Werte, kein Reisender sollte bei gegebener Gelegenheit die Mühe versäumen, an sich und anderen möglichst genaue Beobachtungen zu machen, welche ja so leicht angestellt werden könnten. Auf diese Weise würden wir sicherer als durch irgend eine andere Untersuchung die mechanische Leistungsfähigkeit der Individuen unter verschiedenen Verhältnissen bestimmen können, namentlich zum Zwecke der Vergleichung der verschiedenen Rassen untereinander und der gleichen Rasse unter wechselnden klimatischen Einwirkungen. Die bisher in dieser Richtung angestellten Beobachtungen, welche sich wesentlich auf die Bestimmung der möglichen momentanen Kraftleistungen, an Dynamometern gemessen, beziehen, können keineswegs die Messung der Dauerleistung ersetzen. Immerhin verdienen auch diese Untersuchungsreihen unsere volle Beachtung, um so mehr, da wir annehmen dürfen, daß doch eine gewisse Relation zwischen Momentleistung und möglicher Dauerleistung existiert.

Weisbach gibt in seiner Bearbeitung der Körpermessungen, die bei der Weltreise der österreichischen Fregatte Novara von Dr. K. Scherzer und E. Schwarz angestellt wurden, auch eine Übersicht über die ebenfalls sicher zu kleinen Mittelwerte der „Druckkraft der Hände“ von Vertretern der zur Beobachtung gekommenen außereuropäischen Völker. Danach ist die Kraft der Hände, am Dynamometer gemessen, (im Mittel) bei den Neuseeländern mit 68,2 kg weitaus am größten, bei den Maduresen mit 30,27 am kleinsten, geringer als die Hälfte der erstgenannten. Zwischen diese beiden Extreme reihen sich die übrigen folgendermaßen ein: Stewartinsulaner 56,44, Bugis 50,23, Amboinesen 48,69, Nikobaren 48,4, Sundanesen 46,76, Australier 46,36, Javaner 44,25 und endlich den Maduresen am nächsten die Chinesen mit 42,28 kg Druckkraft.

Demnach wären die Polynesier die stärksten von allen, die Malayen im allgemeinen stärker als die Chinesen und die Australier stärker als beide. Für die Weiber gilt dieselbe Reihenfolge. Die tahitischen sind mit 34,21 kg die stärksten, die australischen mit 25,86 stärker als die javanischen mit 22,53 und sundanesischen mit 21,34, die chinesischen sind mit 21,04 kg Druckkraft ebenfalls die schwächsten. Der Unterschied zwischen den Extremen ist jedoch, ähnlich wie bei der Körpergröße, nicht so groß wie bei den Männern, hinter welchen die Weiber, wie bei allen Völkern, an Kraft meistens um so viel zurückstehen, daß sie gewöhnlich nur die Hälfte von jener der Männer zu äußern im stande sind. Mit der Statur trifft die Stärke nur bei den Polynesiern zusammen, von denen die Neuseeländer im Mittel 1,76 m, die Stewartinsulaner sogar 1,79 m messen, während die kleinsten von allen, die Amboinesen, mit im Mittel 1,59 m Körpergröße den meisten anderen an Kraft vorgehen, wie auch die kleinsten Australier (1,62 m) die größeren Javaner (1,68 m) hierin übertreffen. Immerhin müssen wir darauf aufmerksam machen, daß die angeführten Messungsresultate, wenn auch dadurch besonders wertvoll, daß sie genau nach der gleichen Methode ausgeführt worden, doch auf der anderen Seite durch die relativ geringe und sehr verschiedene Anzahl der untersuchten Individuen an Wert einbüßen. Nach den ausgedehnten Untersuchungen von F. Erismann an russischen männlichen und weiblichen Fabrikarbeitern erscheint auch ein naher Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Druckkraft der beiden Hände zu existieren.

Die bisher wertvollsten Resultate über die Körperkraft der verschiedenen Rassen haben uns die umfassenden statistischen Untersuchungen in Amerika während des Sezessionskrieges gegeben, welche wir in den früheren Kapiteln schon mehrfach benutzt haben. Die Untersuchungen wurden hier auf eine Bestimmung der „Quételetschen Kraft der Lenden", d. h. der Hubkraft (Lendenstreckkraft), beschränkt, mit Benutzung eines eigenartigen Dynamometers. Hier wurde eine wirklich große Anzahl von Rekruten im militärtauglichen Alter untersucht und zwar mit gleichzeitiger Berücksichtigung des Gesundheitszustandes, Alters, früherer Beschäftigung und, was uns vor allem interessiert, auch der Rasse.

Fassen wir zunächst die Rasse ins Auge, so ergeben die von Gould mitgeteilten Mittelzahlen folgende aufsteigende Reihe für die Hubkraft der Vertreter der verschiedenen in dem amerikanischen Heere vertretenen Rassen bei voller Gesundheit im militärtauglichen Alter:

Rasse	Zahl der Individuen	Mittlere Lendenkraft in Kilogr.	Rasse	Zahl der Individuen	Mittlere Lendenkraft in Kilogr.
Weiße . . .	13506	144,4	Mulatten . .	704	158,3
Vollblutneger .	1600	146,7	Indianer. . .	503	159,2

Die farbigen Rassen übertreffen danach an Hubkraft im allgemeinen die weiße Rasse in Amerika.

Das Verhältnis stellt sich aber etwas anders, wenn wir die weiße Rasse nach ihrer früheren Beschäftigung und Herkunft betrachten. Die weißen Rekruten der Nordstaaten der späteren Untersuchungsreihe, hauptsächlich aus früheren Feldarbeitern und städtischen Arbeitern aus den Nordstaaten selbst bestehend, zeigten im Mittel von 6381 Einzeluntersuchungen eine Hubkraft von 155,7 kg; sie übertreffen danach die Vollblutneger, stehen aber doch hinter den Mulatten und Indianern zurück. Dagegen hatten 5776 weiße Rekruten der ersten Untersuchungsreihe nur 142,6 kg Hubkraft ergeben. Gould macht darauf aufmerksam, daß diese merkwürdige Thatsache mit der anderen zusammenfalle, daß unter den Untersuchten der ersten Reihe sich eine große Anzahl von Gefangenen der Südstaatenarmee befand. Daraus scheint, da auch diese Leute bei voller Gesundheit untersucht wurden, hervorzugehen, daß das Truppenmaterial der Südstaaten ein

weniger kräftiges war, ein Verhältnis, welches wir doch wohl wenigstens zum Teil auf die lokalen Einflüsse eines südlicheren Klimas auf die weiße Rasse beziehen dürfen. Es gehen uns freilich, abgesehen von der schon oben beigebrachten Bemerkung Coulombs und den Andeutungen aus Nachtigals Reisen, in Beziehung auf diese höchst wichtige Frage noch alle näheren Untersuchungen ab; am sichersten würden sich Resultate ergeben, wenn die englischen Truppen vor, während und nach der Einwirkung eines tropischen Klimas auf ihre Muskelkraft untersucht würden. Wir führen nur noch unter aller Reserve an, daß nach den Untersuchungen von Gaimard 11 Portugiesen in Rio de Janeiro (?) nur eine Druckkraft von 54,6 kg, 89 Franzosen von L'Uranie nur 59,6 und 16 Franzosen von Ile de France 60,3 kg Druckkraft der Hand zeigten, Werte, welche bezüglich der Franzosen unter den oben angegebenen Werten zurückbleiben. Auch die 66 Engländer von Port Jackson (Sydney, Australien), in einer Breite, welche in der nördlichen Halbkugel etwa der Nordküste Afrikas und dem Süden Siziliens entspricht, zeigten eine mittlere Druckkraft von nur 65,1 kg, während die oben gegebene Tabelle 71,4 kg für die Engländer aufweist. Daß die vorausgegangene Beschäftigung vom einschneidendsten Einfluß ist, beweist das Resultat Goulds: die mittlere Hubkraft oder Lendenstreckkraft von 1141 untersuchten Seeleuten betrug nur 139,2 kg, und auch die Rekruten, welche aus wissenschaftlichen Studien zur Armee kamen, Studenten, vermochten nur 139,9 kg im Mittel zu heben. Durch „Unwohlsein" sank die Hubkraft der weißen Soldaten von 155,7 auf 127,5 kg herab.

Aus den Untersuchungen Quételets an Belgiern wissen wir, daß die mittlere Lendenkraft, wie die Kraft der Hände, in nahezu regelmäßiger Kurve mit dem zunehmenden Alter von der Kindheit bis zu einem gewissen Lebensjahre steigt, um von hier aus wieder zu sinken. Aus Quételets Untersuchungen ergaben sich als die Jahre der größten Lendenkraft das 25.—30. Nach der amerikanischen Militärstatistik muß das Lebensjahr der größten Hubkraft der Weißen höher hinauf und zwar auf das 31. Lebensjahr gerückt werden, von wo an bis zum 34. Lebensjahre keine Kraftabnahme bemerkbar wird, ebenso bei Negern und Mulatten, dagegen erreichen die Irokesen-Indianer erst nach dem 34. Jahre die volle Kraft, ihr Maximum der Hubkraft fällt auf das 35.—44. Lebensjahr. Gould leitet folgende empirische Tabelle über Hubkraft und Lebensalter aus den Beobachtungen an den 6381 weißen Soldaten der zweiten Untersuchungsreihe ab:

Alter Jahre	Hubkraft in Kilogr.	Alter Jahre	Hubkraft in Kilogr.	Alter Jahre	Hubkraft in Kilogr.	Alter Jahre	Hubkraft in Kilogr.
17	127,9	23	158,8	29	164,1	35	163,6
18	136,3	24	161,4	30	164,16	36	163,3
19	142,9	25	163,1	31	**164,2**	37	163,0
20	147,6	26	163,6	32	164,1	38	162,1
21	151,6	27	163,9	33	164,0	39	162,0
22	155,3	28	164,1	34	163,7	40	161,3

Nach den Untersuchungen Goulds kann nun die so lange angenommene Inferiorität der Neger und Indianer in Beziehung auf die Kraftleistungen ihrer Muskulatur nicht mehr länger behauptet werden, obwohl wir keinen Augenblick daran zweifeln können, daß eine Erhöhung der Zivilisation, gefolgt von einer Verbesserung der Lebensverhältnisse, auch eine Steigerung der mechanischen Leistungsfähigkeit der Muskulatur hervorbringen werde. Wir dürfen aber nicht vergessen, daß es bisher noch keiner Staatsweisheit gelungen ist, die mit Steigerung der Zivilisation sich immer greller herausstellende Scheidung zwischen besser als früher und schlechter als früher situierten Klassen und Schichten der Bevölkerungen zu verwischen, eine Scheidung, welche

sich in Beziehung auf das Kräftemaß der Einzelnen einerseits als eine relative Erhöhung, andererseits als eine relative Abminderung geltend machen muß. Quételet spricht diese Verhältnisse in den Worten aus: „Im allgemeinen scheinen uns Wohlstand, reichliche Nahrung und mäßige Übung der Kräfte einen vorteilhaften Einfluß auf die Entwickelung der körperlichen Kräfte auszuüben, während Armut und übermäßige körperliche Anstrengung das Gegenteil bewirken."

Mit Rücksicht auf die Frage nach der möglichen Maximalleistung eines Mannes in Beziehung auf die Lendenkraft ist anthropologisch die folgende kleine Tabelle Goulds von hohem Wert. In ihr wird aus denselben großen Untersuchungsreihen, deren Mittelwerte wir oben angeführt haben, je nur derjenige Mann herausgewählt, welcher die größte Lendenkraft entwickelte, unter Beifügung seines Alters, seiner Körpergröße, seines Vaterlandes und, was besonders bedeutsam, auch seiner Beschäftigung, ehe er in die amerikanische Armee eintrat.

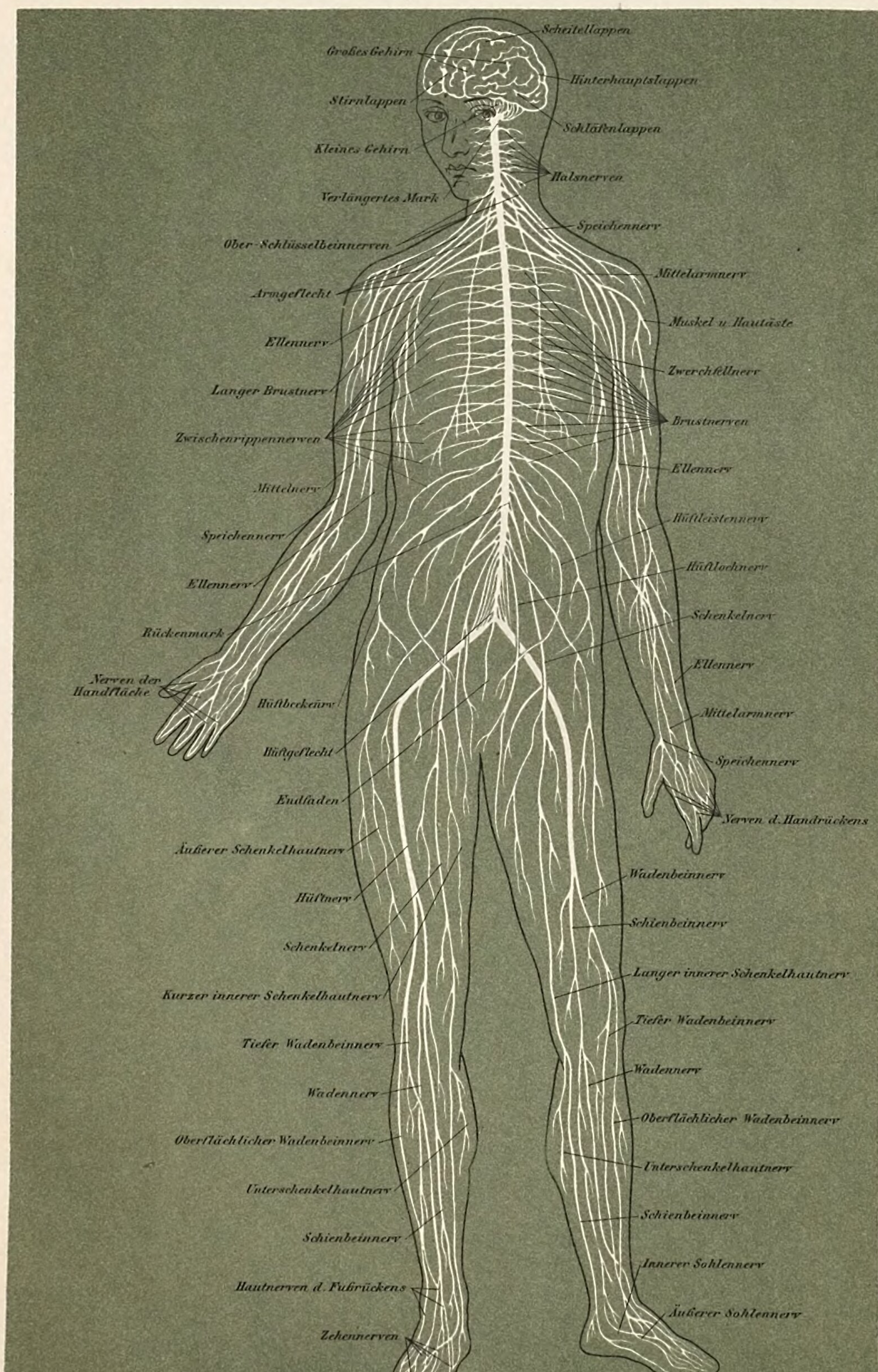
Untersuchte Personen	Frühere Beschäftigung	Lendenkraft in Kilogr.	Heimat	Größe m	Alter
Unter 5776 weißen Soldaten, frühere Reihe	1 Küfer	295	Deutschland	1,73	26
„ 6381 weißen Soldaten, spätere Reihe	1 Grobschmied	381	Ohio	1,82	35
„ 1141 Seeleuten	1	290	Neuschottland	1,78	31
„ 208 Studenten	1	300	Maine	1,69	20
„ 1600 Vollblutnegern.	1 Feldarbeiter	283	Alabama	1,63	25
„ 704 Mulatten	1 Feldarbeiter	315	Nordcarolina	1,74	23
„ 503 Indianern	1 Landmann	336	W. New York	1,72	33

In dem amerikanischen Landheer dienten zahlreiche Eingeborene aus allen europäischen Ländern. Insofern ist es bemerkenswert, daß die Maximalleistungen unter den „weißen Soldaten" auf einen eingeborenen Amerikaner und einen Deutschen treffen.

Zum Schluß sollen hier für gesunde Vollblutneger und Mulatten die direkten Versuchsergebnisse stehen, welche die Messungen Goulds für ihre Lendenkraft in verschiedenem Alter ergeben haben. Die für die letztere angegebenen Werte sind die gefundenen Mittelzahlen, wie oben aus Pfunden in Kilogramme umgerechnet.

Alter in Jahren	Vollblutneger		Mulatten		Alter in Jahren	Vollblutneger		Mulatten	
	Zahl der Untersuchten	Mittlere Hubkraft in Kilogr.	Zahl der Untersuchten	Mittlere Hubkraft in Kilogr.		Zahl der Untersuchten	Mittlere Hubkraft in Kilogr.	Zahl der Untersuchten	Mittlere Hubkraft in Kilogr.
Unter 17	36	120,5	19	111,7	26	77	150,0	38	161,4
17	44	131,3	11	143,8	27	73	149,5	27	172,4
18	73	130,2	25	127,9	28	67	160,6	24	160,6
19	91	131,6	35	143,0	29	41	152,9	24	177,2
20	142	140,2	60	151,0	30	39	153,2	33	165,1
21	128	148,7	54	150,3	31—34	81	164,7	36	170,0
22	145	145,0	65	159,5	35—39	72	148,9	52	160,7
23	157	149,3	55	159,3	40—44	34	138,9	23	173,0
24	143	152,3	54	171,7	45—49	22	145,7	13	154,8
25	124	155,1	47	167,5	50 u. mehr	11	131,4	9	138,2

Die Maximalleistung für die mittlere Hubkraft mit 164,7 Kilogrammmeter fällt bei den Vollblutnegern nach vorstehender Tabelle, wie schon oben angedeutet, auf das Lebensalter von 31 bis 34 Jahren; bei den Mulatten mit 177,2 Kilogrammmeter auf das 29. Lebensjahr. Es sind das auch die Jahre der größten Leistungsfähigkeit bei den europäischen und nordamerikanischen Weißen.



DAS GEHIRN, RÜCKENMARK UND RÜCKENMARKSNERVEN

III. Die höheren Organe.

12. Mikroskopie, Physik und Chemie des Nervensystems.

Inhalt: Die Ganglienzelle und die Nervenfaser. — Die Nervenelektrizität. — Chemie des Nervensystems. — Die geistigen Funktionen und das Nervensystem.

Die Ganglienzelle und die Nervenfaser.

Unserem subjektiven Bewußtsein nach steht der menschliche Geist seinem Körper wie der Maschinenwärter seiner Maschine gegenüber. Auf dem langen und peinlich-mühevollen Wege der Entwickelung unseres Geistes, welcher schließlich zur Begrenzung des eigenen Ich, der eigenen individuell wollenden Persönlichkeit führt, ist die Erkenntnis eines gewissen Gegensatzes zwischen dem mechanisch arbeitenden Räderwerk unseres Körpers und unserem wollenden Individuum eine der ersten und wichtigsten Etappen. Der Körper, dessen einzelne Glieder wir verlieren können, ohne daß dadurch unsere geistige Individualität beeinträchtigt zu werden braucht, wird uns dabei in gewissem Sinne zu etwas Äußerem. Dieser relativen Freiheit und Unabhängigkeit unseres Geistes von den Gliedern des Körpers, welche seinen Willensantrieben gehorchen, entspricht es, daß auch der Organkomplex des Nervensystems, auf welchem die Möglichkeit der Entwickelung und der normalen Bethätigung unserer geistigen Fähigkeiten beruht, eine in hohem Maße ausgebildete Sonderstellung in unserem körperlichen Gesamtorganismus einnimmt. Das Nervensystem ist ein bis zu einem gewissen Grade für sich bestehender abgesonderter Organismus in unserem Organismus.

Das kompakte Hauptzentralorgan des Nervensystems, das Gehirn mit dem Rückenmark, sendet seine Ausläufer, die Nerven, als dickere Stränge und feinste mikroskopische Fädchen zu allen Teilen des übrigen Organismus, so daß überall in die Organe und Organabschnitte des letzteren sich Teile des Nervensystems einschieben und mit ihnen in die innigste Verbindung treten. (S. die beigeheftete Tafel „Gehirn, Rückenmark und Rückenmarksnerven".) An besonders wichtigen Punkten, z. B. im Herzen, sehen wir außerdem gleichsam detachierte äußere kleine nervöse Zentralorgane, Nervenganglien, eingelagert, welche, bis zu einem bestimmten Grade selbständig, wenn auch normal unter der Oberleitung des Hauptzentralorgans, gewissen nervösen Aufgaben vorstehen.

Wie die bisher betrachteten Abschnitte unseres Körpers sich uns unter dem Bilde einer kunstvollen Maschine darstellen und darin ihre Erklärung finden, so gelingt es nach den bisherigen Erfahrungen der Naturforschung auch, die mechanischen Einrichtungen des Nervensystems wenigstens teilweise demselben Gesichtspunkt unterzuordnen, wobei wir freilich von vornherein nicht vergessen dürfen, daß das, was uns bei dem heutigen Stande unserer Erfahrungen als Mechanik des Nervensystems erscheint, doch noch vielfach in hohem Grade hypothetisch und

auf Analogieschlüsse gegründet ist, gewonnen aus den Ergebnissen der Forschung an gröberen Körperorganen. Um durch dieses Wirrsal von naturwissenschaftlichen und philosophischen Hypothesen und wirklich beobachteten Thatsachen den leitenden Faden finden und festhalten zu können, bedarf es vor allem einer voll eingehenden Kenntnis des reellen Beobachtungsmaterials. Wer hier wirklich lernen will, darf nicht die exakten Thatsachen mit den geläufigen Eintagshypothesen der Naturphilosophie scheinbar zu einem vollendeten Ganzen verknüpft studieren, er muß in die Werkstätte des Naturforschers selbst eintreten und ihm bei seinen mühevollen und zweifelsreichen Einzelforschungen zuschauen. Er wird dann vieles, was dauernd festgestellt erscheint, erfahren; er wird die naturwissenschaftlichen Fragen, um deren exakte Lösung es sich in der Gegenwart handelt, verstehen lernen; er wird es aber auch begreifen, warum der exakte Naturforscher dem aufdringlichen Gebaren seichter Halbwisser gegenüber, welche mit Benutzung einiger von helleren Köpfen ihnen gelieferter Schlagwörter die tiefsten Geheimnisse der Natur ergründet zu haben meinen, sich so kühl ablehnend verhält, warum er gerade an dieser entscheidenden Stelle so auffallend bescheiden auftritt.

Immerhin berechtigen, auch wenn wir der von dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft uns auferlegten Reserve uns stets bewußt bleiben, welche bis jetzt durch ihre Fesseln jeden kühnen Flug der Hypothese unmöglich macht, die modernen Fortschritte in der Erkenntnis vom Bau und den Verrichtungen des Nervensystems zu dem Ausspruch, daß die Erkenntnis des mechanischen Teiles der nervösen Thätigkeiten in nicht zu ferner Zeit einen wenigstens entsprechenden Grad der Ausbildung erlangen wird, wie ihn die von uns bisher durchgenommenen Abschnitte der menschlichen Physiologie schon besitzen. Wir werden dann, wenigstens im Prinzip, den Mechanismus der Nerventhätigkeit nicht weniger überblicken können, als wie schon jetzt die gröberen und unseren Sinnen mehr direkt zugänglichen mechanischen Einrichtungen unseres Körpers.

Daß die Lösung dieser mechanischen Rätsel, welche uns das Nervensystem aufgibt, nicht vollkommen von der verschieden sein kann, welche wir schon für die übrigen Organe unseres Körpers gefunden haben, lehren uns vor allem die ersten Stadien der Entwickelungsgeschichte des menschlichen Organismus. Wir erinnern uns, daß alle Organanlagen und Organe des menschlichen Organismus aus dem Protoplasma der Eizelle hervorgehen. Indem sich die befruchtete Eizelle im Furchungsprozeß fortschreitend in mehr und mehr anfänglich, soviel wir bis jetzt für die höheren animalen Wesen zu wissen glauben, gleichartige Furchungszellen teilt, liefert sie das Stoff- und Formmaterial zum Aufbau aller der später nach Funktion und Gestaltung so verschieden erscheinenden Organe und Organgruppen unseres Körpers. Die allererste Anlage des Nervensystems besteht aus einfachen Zellen, welche von den Zellen, aus welchen sich die übrigen Organe entwickeln, im Bauprinzip nicht verschieden erscheinen. Auch in dem voll entwickelten Nervensystem erkennen wir als die Zentralherde der physiologischen Thätigkeit das Bauelement der Zelle in verschiedenartiger Zusammenordnung. Wie bei allen anderen Organen dürfen wir daher auch bei dem Organsystem des nervösen Apparates unseres Körpers die Gesamtthätigkeit als die Summe der Einzelthätigkeiten der im Nervensystem vereinigten Zellen auffassen. Und das ist ja gewiß, daß die niedrigsten, nur aus einer einzelnen Zelle bestehenden animalen Organismen „nervöse Eigenschaften" erkennen lassen. Es bleibt sonach auch für das Nervensystem geltend, was wir bisher für alle anderen Organe bewahrheitet gefunden haben, daß eine schon ursprünglich dem animalen Protoplasma zugehörende Gruppe von Thätigkeiten und inneren Vorgängen in dem höheren Organismus infolge der eingetretenen Arbeitsteilung in den Organen in einer bestimmten Zellengruppe in gesteigertem Maße zur Erscheinung kommt.

Wie überall im Organismus, dürfen wir im Nervensystem schon infolge der entwickelungsgeschichtlichen Erfahrungen die hier vorkommenden spezifischen Zellen, die Nervenzellen oder

Ganglienzellen, als die eigentlichen Herde des Nervenlebens ansprechen. Wo solche Nervenzellen sich finden, werden wir ein Zentrum nervöser Thätigkeit anzunehmen haben. Die Hauptanhäufungen von spezifischen Nervenzellen finden sich im Gehirn und Rückenmark, viel kleinere, knötchenförmige Anhäufungen solcher Zellen, Nervenknötchen oder Nervenganglien, liegen aber auch zerstreut in der Mehrzahl der Organe unseres Körpers, und auch vereinzelt oder in mannigfacher Verbindung treten Nervenzellen an verschiedenen Stellen unseres Körpers auf. Die Anhäufungen von Nervenzellen unterscheiden sich durch eine graurötliche Färbung von der Umgebung. Von dieser Farbe haben seit alter Zeit, lange vor der Entdeckung der Nervenzellen selbst, diese Partien des Nervensystems, welche sich durch die Anwesenheit zahlreicher Nervenzellen auszeichnen, den Namen der grauen Nervensubstanz erhalten. Graue Nervensubstanz findet sich daher nicht nur in Gehirn und Rückenmark, sondern auch die im Körper zerstreuten Nervenknötchen bestehen aus ihr.

Diese graurötliche Färbung fällt am deutlichsten im Gehirn und Rückenmark auf, und zwar infolge davon, daß in diesen Organen neben der grauen Nervensubstanz sich eine namentlich im Gehirn weit mächtigere zweite nervöse Substanz zeigt, welche von ihrer milchweißen Färbung den Namen der weißen Nervensubstanz erhalten hat. Im Gehirn bildet die graue Nervensubstanz eine fast das ganze Organ überkleidende Außenschicht, während die Hauptmasse aus weißer Nervensubstanz besteht, die nur noch an einzelnen zentral gelegenen Stellen im Inneren verschieden gelagerte Anhäufungen von grauer Nervensubstanz erkennen läßt. Bei dem Rückenmark fehlt die äußere graue Hüllschicht, die zentral gelagerte graue Nervensubstanz ist bei ihm nur von einer dicken Lage weißer Substanz umkleidet.

Wie gesagt, haben wir auch die weiße Substanz als eine spezifisch nervöse anzusprechen. Das Mikroskop lehrt uns aber, daß in der weißen nervösen Substanz die Nervenzellen fehlen, und daß dagegen hier langgestreckte, mikroskopisch feine Fasern, Nervenfasern, in zahlloser Menge und, wie es zunächst erscheinen könnte, unentwirrbarem Verlauf sich finden. Sowohl in der grauen als in der weißen Nervensubstanz sind die speziell nervösen mikroskopischen Elemente, einerseits die Nervenzellen, anderseits die Nervenfasern, getragen und zusammengehalten durch ein zartes Stützgewebe aus der Gruppe der Bindesubstanzen, Neuroglia, welchem wie überall im Organismus, so auch hier die Aufgabe des Zusammenhaltes und der Leitung der Blut- und Lymphgefäße übertragen ist.

Die Nervenfasern der weißen Nervensubstanz sehen wir an vielen regelmäßig gelagerten Stellen aus dem Gehirn und Rückenmark zu Tausenden vereinigt als Nervenstämme austreten, in ihrem peripherischen Verlauf nach den entfernteren Organen hin sich mehrfach teilen und sich schließlich pinselförmig in einen „Endbusch“ feiner mikroskopischer Nervenfäserchen auflösen, welche endlich zu den kleinsten Organteilchen herantreten. Die Nerven bestehen sonach lediglich aus weißer Nervensubstanz. Indem sie aber vielfach auch die Verbindung von Rückenmark und Gehirn mit den im Körper zerstreuten Nervenknötchen, welche aus grauer Substanz bestehen, vermitteln und die Nervenknötchen selbst untereinander verbinden und von ihnen wieder abgehen, so erscheinen Knötchen von grauer Nervensubstanz an vielen Stellen unseres Organismus den Nerven eingelagert oder wenigstens angelagert. Es ist das ein Verhältnis, welches uns namentlich bei jenem Abschnitt des Nervensystems näher treten wird, der nach den zahlreichen im Verlauf seiner Nerven sich findenden Nervenknötchen oder Nervenganglien den Namen Ganglienneroensystem oder sympathisches Nervensystem führt.

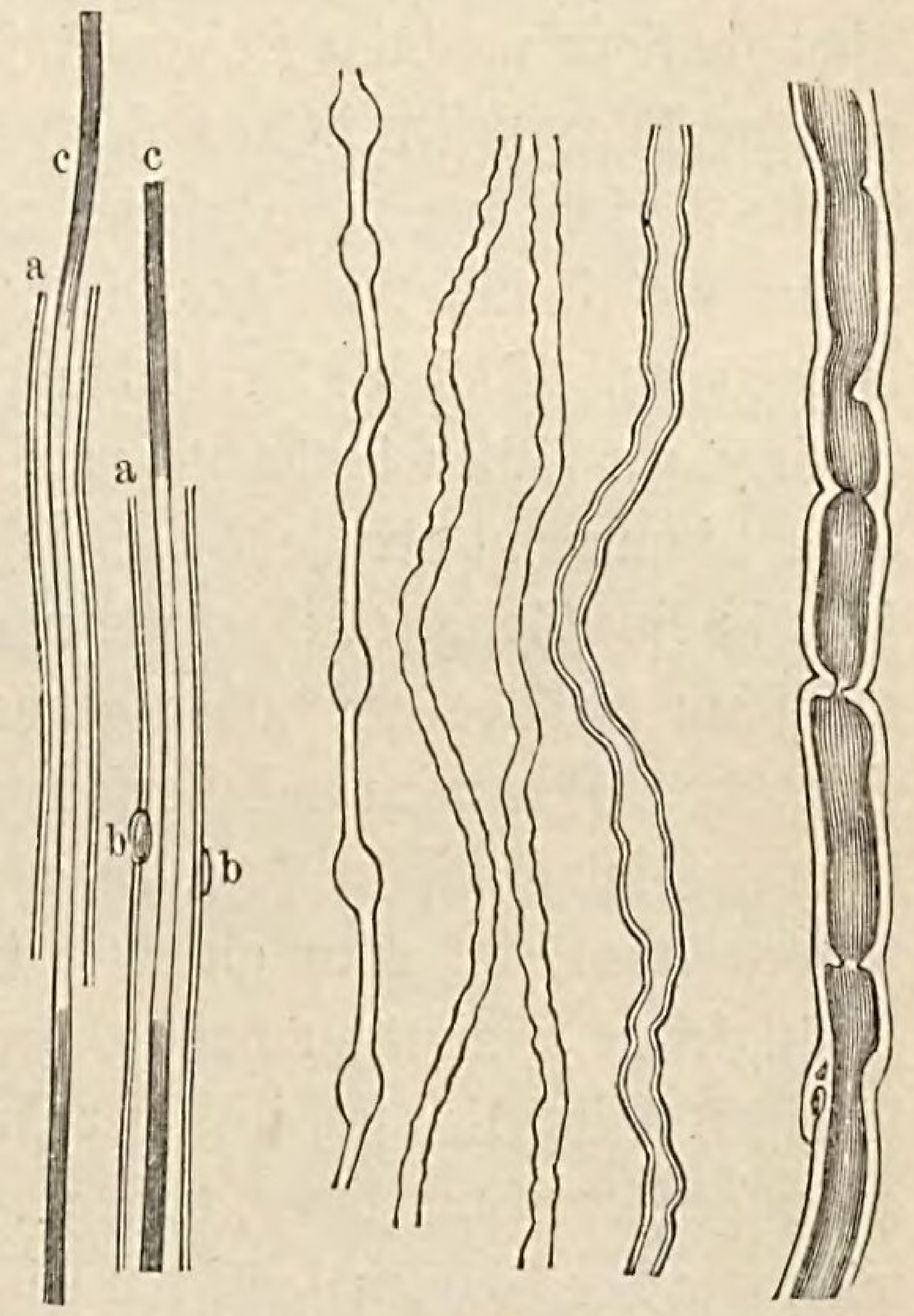
Nervenzellen und Nervenfasern sind daher die beiden mikroskopischen Grundbestandteile des Nervensystems, deren eingehender Betrachtung wir uns zunächst zuzuwenden haben. Und schon an dieser Stelle treten uns die größten Schwierigkeiten für ein tieferes Verständnis der Thätig-

keiten des Nervensystems entgegen. Sollte man nicht meinen, daß, entsprechend den mannigfaltigen Verrichtungen, die wir von dem Nervensystem ausgehen sehen oder, besser gesagt, die wir nach dem bisherigen Stande unseres Wissens dem Nervensystem zuzuschreiben haben, die postulierten Zentralherde dieser verschiedenartigen Thätigkeiten, die Nervenzellen (s. Abbildung, S. 112), wesentliche erkennbare Verschiedenheiten aufweisen müßten? Aber im Gegensatz gegen dieses scheinbare Vernunftpostulat scheinen die Ganglienzellen trotz mannigfacher Formdifferenzen im wesentlichen überall eine unverkennbare prinzipielle Bauübereinstimmung zu zeigen. Im allgemeinen können wir den Bau der Nerven- oder Ganglienzelle folgendermaßen beschreiben: Die Ganglienzelle hat gemeiniglich ein blasses Ansehen, eine eigentliche Zellmembran wird nicht selten vermißt. In das Protoplasma der Ganglienzellen sind meist zahlreiche Körnchen eingestreut, die in manchen Fällen eine gelbliche oder bräunliche Färbung haben. Der Kern der Ganglienzelle ist scharf umrandet, groß und rund und birgt ein oder mehrere Kernkörperchen. Die Größe der Ganglienzellen ist sehr verschieden, sie kann so bedeutend werden, daß man die Zelle mit freiem Auge als Punkt von 0,07 bis 0,09 mm zu unterscheiden vermag; andere sind so klein, daß sie zu den kleinsten mikroskopischen Elementen unseres Körpers zu zählen sind. Das Hauptcharakteristikum der Ganglienzelle, wodurch sie sich vor den übrigen Zellformen auszeichnet, ist das massige Überwiegen langer, aus dem Protoplasmaleib der Zelle hervorgehender Zellfortsätze über den Zellkörper selbst. Von verschiedenen Stellen der Zelle und bei verschiedenen Zellen in wechselnder Anzahl gehen fadenartige, teils verästelte, teils ungeteilte Fortsätze ab, von denen die ungeteilten als Nervenfasern erscheinen; letztere erreichen zum Teil die Länge eines Meters und noch mehr. Gleichsam selbständig geworden, treten diese als Nervenfasern erscheinenden Zellfortsätze der Ganglienzellen aus den nervösen Zentralorganen heraus und verlaufen, in großer Anzahl durch Bindegewebe zu einem Nervenstamm vereinigt, zu den die nervösen Zentralorgane umlagernden Körperorganen, welche sie mit jenen verknüpfen. Wir nehmen an, daß jedes der Tausende von Nervenfädchen, welche sich in einem Nervenstamme vereinigt finden, mit einer Ganglienzelle in einem nervösen Zentralorgan, wenn nicht in direkter anatomischer, doch in funktioneller Verknüpfung sich befindet. Indem auch die benachbarten Ganglienzellen durch Zellfortsätze in direkte oder indirekte Verbindung treten, bilden sie in ihrer Gesamtheit eine Art von Netzwerk, dessen Maschen von den Ausläufern der Ganglienzellen gebildet werden; in den Kreuzungspunkten dieser Maschen liegen, gleichsam als verknüpfende Knotenpunkte, die Ganglienzellen.

Es gehört eine sehr zarte Methode der Präparation dazu, um die von den Ganglienzellen abgehenden Fortsätze (s. Abbildungen, S. 489 und 490) zur mikroskopischen Anschauung zu bringen. So kann es uns nicht wundernehmen, daß man namentlich früher vielfach auf solche Nervenzellen gestoßen zu sein glaubte, welche gar keine Fortsätze zu besitzen schienen; bei anderen konnte man nur einen oder zwei Fortsätze nachweisen. Die Mehrzahl aller größeren Ganglienzellen besitzt nun aber entschieden eine größere Anzahl von Fortsätzen, und es ist jetzt mehr als fraglich, ob es überhaupt Ganglienzellen ohne Fortsätze gibt. Da man in der letzten Zeit ein außerordentlich feines Netzwerk von Zellfortsätzen, den „Nervenfilz" oder nach His „Neuropilem" bildend, entdeckt hat, das namentlich an die größeren Ganglienzellen in verschiedenartiger Weise herantritt und diese, vielleicht ohne in sie einzutreten, umspinnt, so dürfen wir wohl mit Recht an dem Vorhandensein funktionell fortsatzloser Ganglienzellen zweifeln. Dagegen haben uns gerade die besten neuesten Untersuchungen gelehrt, daß es viele Ganglienzellen, namentlich solche von kleinen Dimensionen, mit nur einem oder wenigstens sicher mit nur zwei Fortsätzen gibt. Da man das Leben der Nervenelemente vorzugsweise mit elektrischen Vorgängen verknüpft zu denken liebt, so hat man auch für die Bezeichnung der Zahl der Fortsätze der Nervenzellen Ausdrücke gewählt, welche, freilich in exakt unzulässiger Weise, an elektrische Vorgänge mahnen sollten; man

bezeichnet in diesem Sinne die Ganglienzellen, an welchen man keinen Fortsatz auffinden konnte, als apolare Ganglienzellen, solche mit einem, zwei und mehr Fortsätzen als unipolare, dipolare, multipolare Ganglienzellen. Je nach der Zahl der Fortsätze ist meist auch die Gestalt der Ganglienzellen modifiziert, sie erscheinen teils kugelig, teils birnförmig oder spindelförmig oder gemahnen an phantastisch gezackte Sternformen.

Die Zellausläufer der Ganglienzellen zeigen ein sehr wesentlich verschiedenes Verhalten. Eine große Anzahl namentlich jener relativ mächtigeren Zellformen, welche wir im Rückenmark und Gehirn antreffen, besitzen einen unverästelten Ausläufer, welcher sehr bald alle typischen Eigenschaften des Baues einer wahren Nervenfaser zeigt, wie wir dieselbe als Hauptbestandteil der weißen Nervensubstanz in Gehirn und Rückenmark und in den Nervenstämmen und Nervenästchen im ganzen Körper antreffen. Dieser Zellfortsatz wird als „Achsencylinderfortsatz oder Nervenfaserfortsatz" der Ganglienzelle bezeichnet. Die größere Anzahl der Fortsätze der Nervenzelle verästelt sich aber bald nach ihrem Abgang von dem Zellkörper und löst sich schließlich in ganz feine Fäserchen auf; diese Fortsätze der Ganglienzellen werden verästelte Fortsätze oder „Protoplasmafortsätze" genannt. Es ist sehr beachtenswert, daß nach vielfachen Untersuchungen, namentlich nach denen eines so feinen Mikroskopikers wie Gerlach, unter den Ganglienzellen der nervösen Hauptzentralorgane sich zahlreich solche finden, welche lediglich verästelte Fortsätze, dagegen keinen Nervenzellenfortsatz besitzen. Nur der Nervenzellenfortsatz ist eine eigentlich typische Nervenfaser und zwar eine dunkelrandige Nervenfaser.



1) Zwei frische Nervenfasern. a) Nervenfaserscheide, b) eingelagerte Kerne, c) Achsencylinder, zwischen a) und c) das gleichartig durchsichtige Nervenmark. 2) Nervenfasern mit geronnenem Nervenmark; Achsencylinder nicht sichtbar.

Frische Nervenfasern (s. nebenstehende Abbild. 1) sehen unter dem Mikroskop aus wie vollkommen durchsichtige und gleichartige Glasfädchen, von dunklem, scharfem Rande begrenzt, der aber lediglich durch das starke Lichtbrechungsvermögen der Nervenfaser bedingt wird. Die abgestorbene Nervenfaser verliert ihre gleichartige, an Glas erinnernde Durchsichtigkeit; an ihr erkennen wir, daß, besonders deutlich an den Nervenfasern der Nervenstämme, eine zarte, hautartige Hülle jede Nervenfaser umkleidet. Direkt unter dieser Nervenfaserhülle erkennen wir eine stark lichtbrechende Substanz, das Nervenmark (s. Abbildung 2), welches als eine Art von Scheide einen weniger stark lichtbrechenden, im Zentrum der Faser verlaufenden Faden von kreisförmigem oder bandförmigem Querschnitt, den Achsencylinder oder Achsenfaden, umhüllt. Die Markscheide, welche sich optisch und chemisch so scharf von dem Achsencylinder unterscheidet, ist selbst noch in ein Fachwerk von zartester Hornsubstanz, Nervenhornsubstanz, eingebettet. Der wichtigste und für die nervöse Funktionierung unentbehrliche Teil der Nervenfaser ist der Achsencylinder. Die hautartige Hülle der Nervenfaser kann fehlen, das Nervenmark kann in größerer oder kleinerer Menge vorhanden sein oder ganz mangeln, ohne dem noch übrigbleibenden, nur aus dem Achsencylinder bestehenden Fädchen den Charakter einer wahren Nervenfaser zu rauben; und besonders wichtig ist es, daß sich der Achsencylinder in feinste Fäserchen teilen und auflösen kann, denen immer noch der Charakter des Nervenfäserchens gewahrt bleibt. Nervenfasern, welchen das Nervenmark mangelt, welche daher auch das hohe optische Lichtbrechungsvermögen und damit die scharfen Grenzlinien der markhaltigen Nervenfasern nicht be-

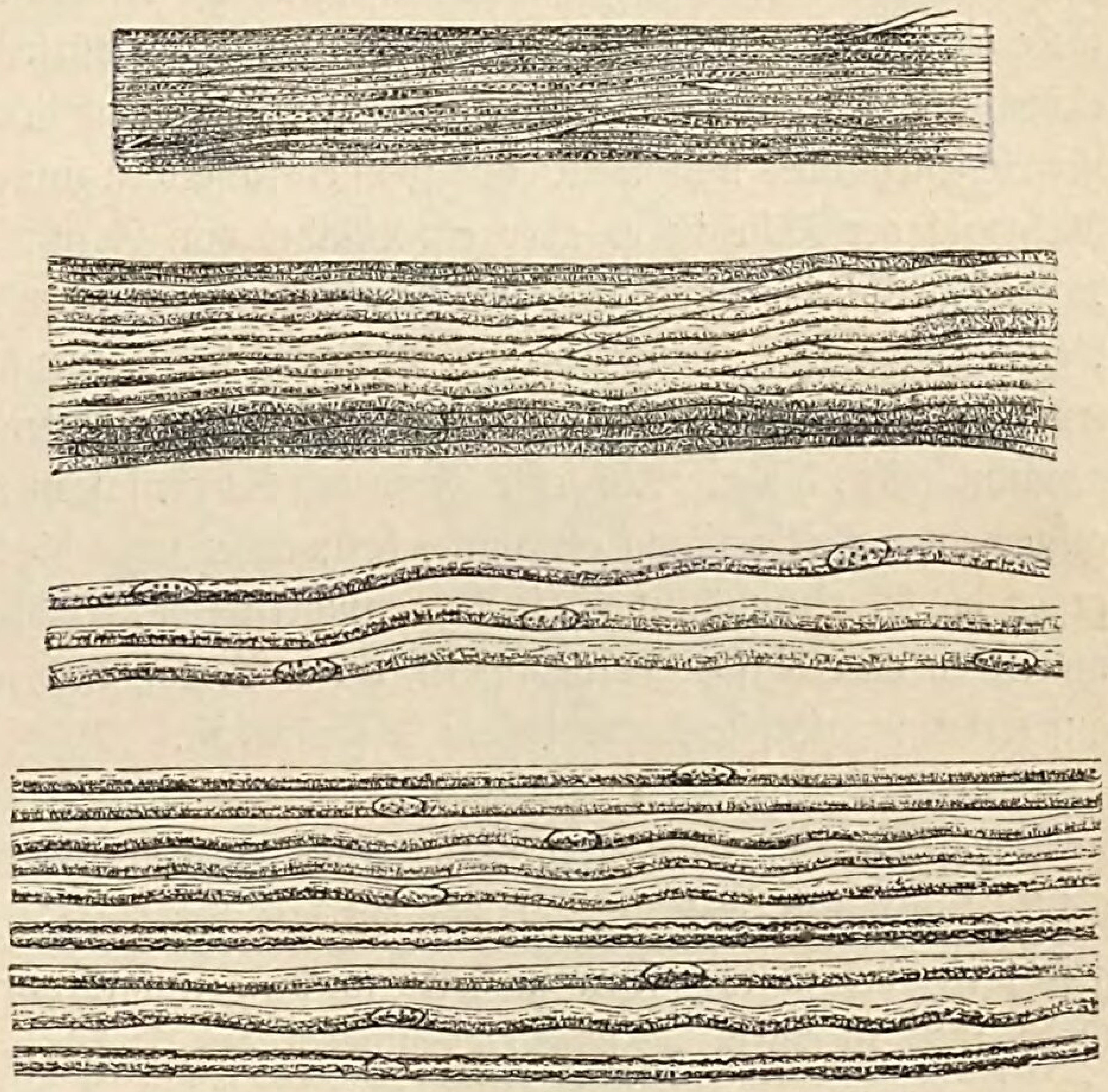
sitzen, werden „marklose oder blasse Nervenfasern“ genannt (s. Abbildung, S. 487). Die nervösen Einflüsse, welche sich mit Willen und Bewußtsein zu verknüpfen pflegen, werden der Hauptsache nach durch „dunkelrandige Nervenfasern“ vermittelt, während die blassen Nervenfasern, abgesehen von den nervösen Endeinrichtungen der Sinnesorgane, namentlich in dem sympathischen oder Ganglienervensystem sich finden, welches den stillen, normal ohne unser Bewußtsein und stets ohne direkten Einfluß unseres Willens verlaufenden Vorgängen der Ernährung und des Wachstums der Organe und des Gesamtkörpers vorsteht.

Als das Mikroskop vor dem erstaunten Auge der Forscher die nervöse Substanz in die beiden einfachen Formelemente der Nervenzellen und Nervenfasern auflöste und es unzweifelhaft nachgewiesen war, daß Nervenfasern als Ausläufer von Ganglienzellen auftreten, und daß andere nicht weniger mächtige Zellausläufer durch das aus ihrer Verästelung hervorgehende Fasernetz einzelne Nervenzellen in den Zentralorganen des Nervensystems untereinander in direkte oder indirekte Verbindung setzen, schien wie mit einem Zauberschlag der Schleier von einem der wichtigsten Geheimnisse, welches die höchsten Thätigkeiten des menschlichen Lebens bisher verhüllte, weggezogen. Daß die Verbindung der Nervenzellen mit dickeren, brückenartigen Ausläufern nur in einzelnen Fällen beobachtet war oder sogar ganz bestritten wurde, daß man auch nur in einzelnen, immerhin der Zahl nach beschränkten Fällen den direkten Übergang einer wahren Nervenfaser in eine Ganglienzelle hatte nachweisen können, durfte auf die noch immer dem zartesten anatomischen Gebilde gegenüber grobe Methode der Präparation geschoben werden, welche durch Schneiden, Zerzupfen und Zerfasern Zusammenhänge mehr trennte und zerriß als klarlegte. Im Übermaß sanguinischer Hoffnungen wagte man es, die größeren Nervenzellen als Seelenzellen zu bezeichnen, da man glaubte, in ihnen unzweifelhaft den Zentralsitz jener geheimnisvollen Thätigkeiten erkannt zu haben, deren Gesamtheit bei dem Menschen wir als Menschengeist bezeichnen. Man ließ sich in dieser Auffassung nicht dadurch stören, daß schon die allerersten Beobachtungen ergeben hatten, daß ganz entsprechende Nervenzellen, wie wir sie in den für die Entwickelung der höchsten seelischen Eigenschaften des Menschen wichtigsten Abschnitten des Gehirns antreffen, sich nicht nur im Rückenmark, welchem höhere, spezifisch „seelische“ Funktionen niemals im Ernste zugeschrieben werden konnten, sondern auch im ganzen Körper zerstreut finden, namentlich aber in Organen, auf die unser Wille keinen Einfluß besitzt. Die äußere prinzipielle Ähnlichkeit der größeren Ganglienzellen untereinander, welche man ja keineswegs verkannte, glaubte man so deuten zu können, daß der innere Bau dieser kleinen Apparate trotz der äußerlichen Übereinstimmung an verschiedenen Stellen des Nervensystems ein sehr verschiedener sein könne, und was hinderte, anzunehmen, daß im Gehirn Nervenzellen von einem so komplizierten Bau vorhanden seien, wie ein solcher den höchsten animalen Verrichtungen entsprechen würde? Und deuteten nicht schon die verschiedene Anzahl von Ausläufern der Ganglienzellen, die Verschiedenartigkeit der Ausläufer selbst und die trotz der allgemeinen Bauübereinstimmung vorhandene Ungleichheit der Form, Gestalt und Größe der Ganglienzellen selbst auf solche, wie es schien, mit Recht vermutete Bauunterschiede hin?

Die besten Augen, die feinsten Finger machten sich an das Werk, die Baugeheimnisse dieser wunderwirkenden Zellen des Nervensystems aufzuklären, und das Resultat dieser mit einer der Wichtigkeit der vorliegenden Fragen entsprechenden Energie betriebenen Untersuchungen blieb nicht aus. Aber freilich war die Lösung eine ganz andere, als man glaubte mit vollem Rechte hoffen zu dürfen. Es zeigte sich, daß die Ganglienzellen in dem bisherigen Sinne gar nicht als Zentralherde der nervösen Thätigkeit betrachtet werden dürfen. Sowohl Nervenzellen als Nervenfasern sind sehr komplexe Gebilde, Knoten und Vereinigungsstränge eines außerordentlich viel feineren Protoplasmanetzes, dessen Formelemente, an der äußersten Grenze des mit den besten

heutigen optischen Vergrößerungsmitteln Erreichbaren gelegen, bisher aller näheren Analyse trotzen. Diese modernen Entdeckungen stellen uns betreffs des Nervensystems vor eine ganz neue mikroskopische Aufgabe, deren Lösung bis jetzt in noch nicht absehbarer Ferne liegt.

Die Entdeckungen über den feineren Bau der Nervenfasern und Nervenzellen sind an den Namen eines leider viel zu früh verstorbenen Mannes geknüpft, den wir mit Stolz einen Deutschen nennen: Max Schulze, unstreitig einer der bedeutendsten Mikroskopiker, den die Welt in den letzten Jahrzehnten gesehen hat. Aber auch viele andere Namen aus der Reihe der besten Forscher haben sich mit diesem hochwichtigen Gegenstand verknüpft. An Stelle der relativ groben Nervenfasern und Nervenzellen setzte die neueste Forschung das Nervenprimitivfäserchen, die Nervenprimitivfibrille, und das Nervenkorn, feinste und minimal kleine mikroskopische Formelemente, welche aber doch in gewissem Sinne die gröberen nervösen Formbestandteile ins Kleinste und Feinste übersetzt wiederholen.


Marklose Nervenfasern, sehr stark vergrößert.

Max Schulze fand, daß die bis jetzt bekannte einfachste Form aller im Organismus sich findenden nervösen, fadenartigen Formelemente die Nervenprimitivfibrille sei; jede solche stellt sich uns als ein fast unmeßbar feines Fäserchen dar. Solche Nervenprimitivfäserchen finden sich massenhaft in den Zentralorganen und in der Nähe der am weitesten in der Körperperipherie von den nervösen Zentralorganen abgelegenen Enden der Nerven, wo sie namentlich und zuerst in den höheren Sinnesorganen, zuvörderst in der Nervenhaut des Auges, aufgefunden wurden. Eine innere Baustruktur ist in diesen Nervenprimitivfibrillen bis jetzt noch nicht nachzuweisen gewesen, sie erscheinen als gleichartige Fädchen aus Protoplasma der Nervensubstanz. Die Nervenprimitivfibrillen gehen an den peripherischen und zentralen Nervenenden aus dickeren Nervenfasern direkt hervor, letztere lösen sich in jene auf, in den nervösen Zentralorganen treten anderseits auch eine größere oder geringere Anzahl von Nervenprimitivfibrillen zu dickeren Nervenfasern zusammen. Durch die Vereinigung einer Anzahl voneinander nachbarlich und parallel verlaufenden Nervenprimitivfibrillen bildet sich jene schon erwähnte, in den nervösen Zentralorganen vielverbreitete Nervenfasergattung, welche wir S. 486 als blasse, marklose Nervenfasern bezeichneten, und welche Max Schulze nackte Achsencylinder oder Nervenprimitivfibrillenbündel nannte. Sie erscheinen mikroskopisch als eine Zusammensetzung aus Nervenprimitivfibrillen, in eine feinstkörnige Zwischenmaterie eingelagert. Über das Verhalten dieser feinsten „Körnchen“ zu den Nervenprimitivfibrillen sind wir noch nicht im klaren; ob diese Körnchen kleinste Ansammlungen nervösen Protoplasmas sind, ob und eventuell wie die feinsten nervösen Fäserchen mit den Körnchen zusammenhängen, wissen wir noch nicht sicher; doch ist ein Zusammenhang feinster Fäserchen mit feinsten Körnchen nach den Beobachtungen einerseits in der Nervenhaut des Auges, anderseits im Gehirn, nach Rindfleisch, immerhin nicht unwahrscheinlich, ein Verhalten, welches

uns noch neue Schwierigkeiten des Verständnisses darbieten würde. Andere Nervenprimitivfibrillen verlaufen auf weitere Strecken isoliert, und indem sich nun entweder die einzelne Nervenprimitivfibrille oder das Nervenprimitivfibrillenbündel mit den weiteren uns bekannten Hüllen der größeren Nervenfaser umgeben, entstehen folgende Formen der Nervenfasern:

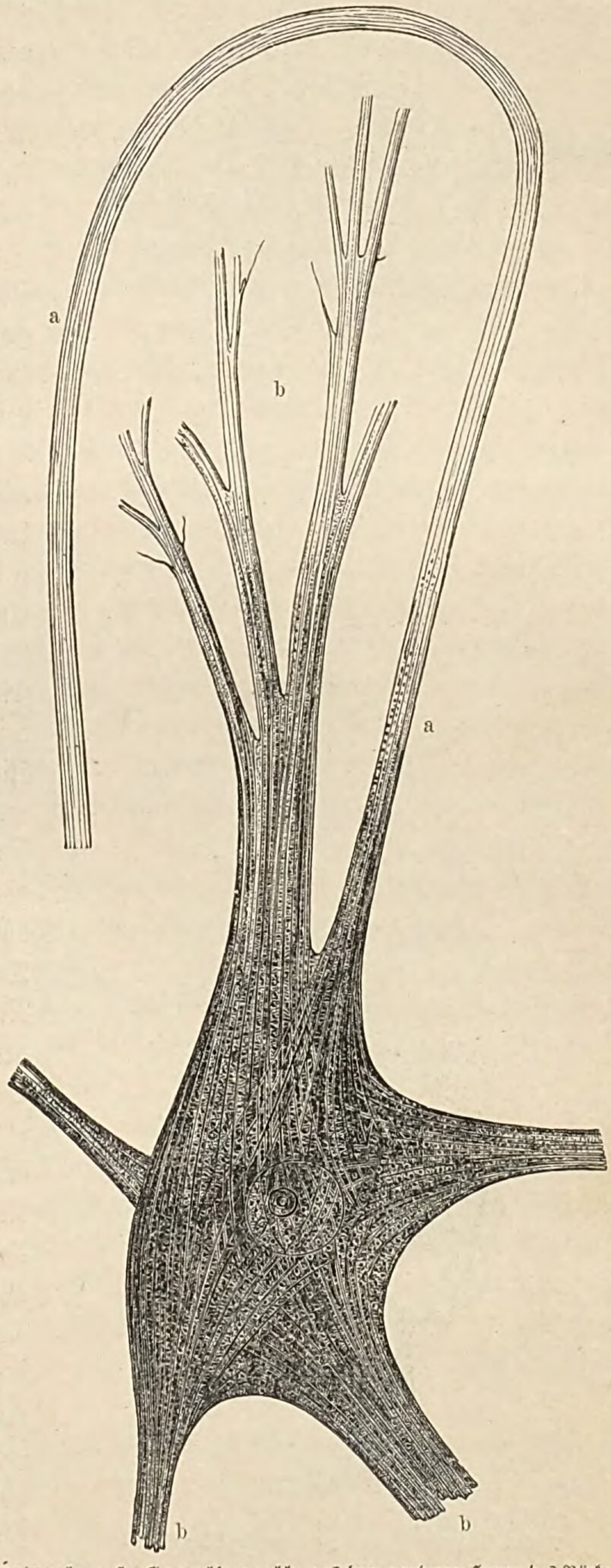
Die einzelne Nervenprimitivfibrille kann nackt, ohne jegliche weitere Umhüllung verlaufen, oder es vereinigen sich eine kleinere oder größere Anzahl von Primitivfibrillen zu einem gemeinsamen Bündel (s. Abbildung, S. 487), ohne daß eine weitere wesentliche Umhüllung dazuträte. Diese letztere Form des Fibrillenverlaufes ist es, welche wir soeben als nackte Achsencylinder bezeichneten. In der Entdeckung, daß fast immer der Achsencylinder der Nervenfasern ein aus zahlreichen feinsten Fibrillen zusammengesetztes Gebilde sei, liegt der Schwerpunkt der modernen Anschauungen bezüglich der Nervenfasern, welche die ältere Periode als einfache oder einheitliche Gebilde glaubte auffassen zu dürfen. In seltenen Fällen umkleidet sich eine einheitliche Nervenprimitivfibrille mit einer Hülle von Nervenmark, nur in diesem Falle ist sonach der Achsencylinder nicht weiter aus feinsten Fäserchen zusammengesetzt. In der weit überwiegenden Mehrzahl der Fälle ist es aber ein Bündel von Nervenprimitivfibrillen, welches sich mit einer Nervenmarkscheide umhüllt. Zu diesen beiden Teilen der Nervenfaser: Nervenprimitivfibrille und Nervenmarkscheide, kommt bei der Mehrzahl der Nervenfasern im Zentralnervensystem jene oben erwähnte hautartige Hülle, welche nach ihrem berühmten Entdecker die Schwannsche Scheide genannt wird, hinzu. Als letzte Form der Nervenfasern nennen wir noch jene auch schon bei der allgemeinen Beschreibung erwähnte, bei welcher zwar die Schwannsche Scheide vorhanden ist, dagegen die Markumhüllung, die Nervenmarkscheide, fehlt; es sind das, wie wir uns erinnern, die marklosen oder blassen Nervenfasern, deren Vorkommen, abgesehen vom Riechnerven, namentlich auf das sympathische Nervensystem beschränkt ist.

Verfolgen wir eine Nervenfaser jener Formen, bei denen der Achsencylinder, wie wir eben beschrieben haben, aus einer oft sehr bedeutenden Anzahl von Nervenprimitivfibrillen zusammengesetzt ist, bis in ihr zentrales Ende im Rückenmark oder Gehirn oder bis in ihr peripherisches Ende, z. B. in einem der höheren Sinnesorgane, so sehen wir, daß sich die Primitivfibrillen voneinander trennen und selbständig verlaufen; die Nervenfaser scheint sich dabei zu teilen, indem sie sich in ihre wesentlichen Elemente zerfasert. Derartige Teilungen der Nervenfasern kommen jedoch in den mittleren Verlaufsstrecken derselben, z. B. in den Nervenstämmen, relativ sehr selten vor. In den peripherischen Organen löst sich die Nervenfaser vielfach in den oben erwähnten „Nervenendbusch" auf, das gleiche gilt für viele zentralendigende Nervenfasern, die Achsencylinder zerfasern sich in eine Art von „Nervenendbusch", in zahlreiche, sehr feine Fäserchen, die sich korbartig um den Körper einer Nervenzelle herumlegen, vielleicht ohne in sie einzutreten, oder sich mit den Endbüschen anderer Nerven durchflechten und so jenen oben erwähnten „Nervenfilz" bilden.

Also nicht die dickere Nervenfaser, sondern diese feinste Primitivfibrille ist das letzte in der Längsrichtung ausgebildete Formelement, in welches die neuere Mikroskopie die Nervensubstanz auflöst. Wir müssen nun zunächst fragen, woher stammen denn diese Fibrillen, woher kommen sie? Da die dickeren Nervenfasern mit ihren aus Nervenfibrillenbündeln bestehenden Achsencylindern wenigstens zum Teil unzweifelhaft aus den größeren Ganglienzellen hervorkommen und mit diesen in direkter Verbindung stehen, so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die aus den Nervenzellen austretenden Nervenfäserchen auch in irgend einer Weise in diesen Zellen enthalten gewesen sein müssen. Man mußte zunächst der Meinung sein, daß die Nervenprimitivfibrillen in den Nervenzellen aus deren Protoplasma entspringen. Aber auch hier hat die fortgesetzte, mühevollste Untersuchung gelehrt, daß zwar allem Anschein nach wirklich Nervenfibrillen

in den größeren Ganglienzellen endigen (namentlich will man Nervenfibrillen sich mit dem Kerne der Nervenzelle oder mit dem Kernkörperchen derselben verbinden gesehen haben), daß aber von einem Entspringen von Nervenfibrillen direkt aus dem Protoplasma der größeren Nervenzellen noch keine sicheren Beweise gewonnen werden können, wenn auch die Möglichkeit, ja Wahrscheinlichkeit eines solchen Ursprungs keineswegs ausgeschlossen erscheint.

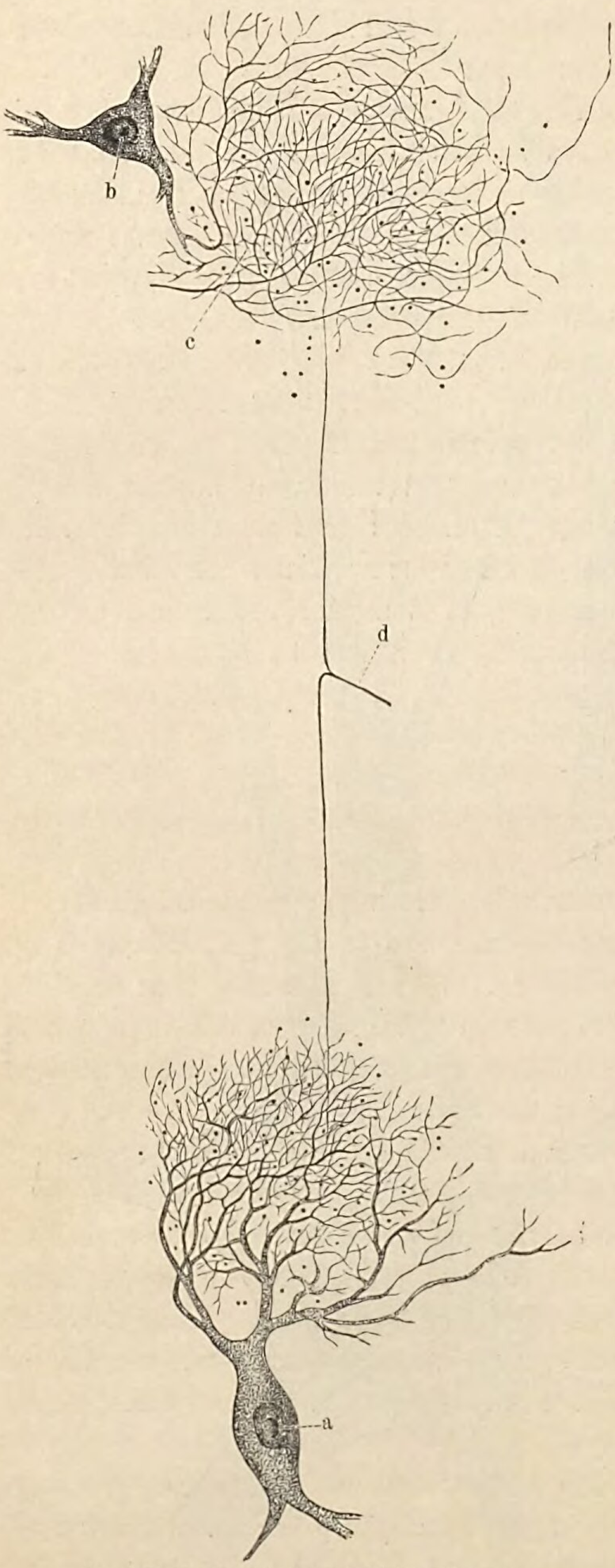
Die ersten Aufschlüsse, welche wir über die feinere **Struktur der größeren Nervenzellen** erhielten, bezogen sich auf jene oben beschriebenen, von dem Zellenkörper abgehenden Fortsätze, welche wir teils als sich verästelnde Fortsätze, teils als unverästelte Achsencylinderfortsätze oder Nervenfaserfortsätze bezeichneten, von welch letzterer Gattung die größeren Nervenzellen des Zentralnervensystems wohl niemals mehr als je einen besitzen, während eine beträchtliche Anzahl von größeren Nervenzellen (s. Abbildung, S. 490) mit mehr oder weniger zahlreichen verästelten Fortsätzen ausgestattet ist. Diese verästelten Fortsätze lösen sich nach längerem oder kürzerem Verlauf in feinste Fäserchen, nichts anderes als Nervenprimitivfibrillen, auf, welche sich, wie man vielfach angenommen hat, teilweise im weiteren Verlauf mit einer Nervenmarkscheide umhüllen und dann als feinste, „dunkelrandige“ Nervenfäserchen erscheinen. Aber auch der dickere Stamm dieser verästelten Nervenzellenfortsätze erscheint gefasert, und es lassen sich in ihm, eingebettet in jene schon oben erwähnte feinstkörnige Zwischensubstanz, die Nervenprimitivfibrillen von dem Protoplasma der Nervenzelle her bis zu den feinsten Ausläufern direkt verfolgen. Der einzelne Achsencylinderfortsatz charakterisierte sich bei der Durchleuchtung mit dem Mikroskop ebenfalls von Anfang an als ein Bündel von Nervenprimitivfibrillen, die sich bald mit einer Markscheide umhüllen und dann eine dickere, dunkelrandige Nervenfaser darstellen.



Mittelgroße Ganglienzelle aus dem vorderen Horne des Rückenmarks vom Kalbe, stark vergrößert. a) Achsencylinderfortsatz, b) kurz abgerissene verästelte Fortsätze.

Max Schulze gelang der weitere, unberechenbar wichtige Nachweis, daß **auch das Protoplasma der größeren Ganglien- oder Nervenzelle im ganzen feinkörnig und faserig ist** (s. obenstehende Abbildung). Die Fäserchen oder Fibrillen der Fortsätze der Ganglien-

zellen oder Nervenzellen stehen mit den Fäserchen oder Fibrillen des Protoplasmas der letzteren in direktem Zusammenhang. Der faserige oder fibrilläre Bau des Protoplasma der Ganglienzelle tritt am deutlichsten in den Außenschichten der Ganglienzellen hervor, während direkt um den Kern der Zellen nur jene feinstkörnige Materie liegt, deren etwaige direkte Beziehung zu den Fäserchen noch nicht aufgehellt ist. Der Zusammenhang der Primitivnervenfibrillen der Fortsätze der Nervenzellen mit den die Nervenzelle selbst erfüllenden Primitivnervenfibrillen ist dagegen vielfach als ein vollkommen direkter nachzuweisen. Der Verlauf der Fibrillen innerhalb der Ganglienzellen ist übrigens sehr verwickelt. Von jedem der Ganglienzellenfortsätze aus sieht man sie auseinanderstrahlend eintreten, und bald bilden sie ein Gewirr sich durchkreuzender Fäserchen, in welchem eine Gesetzmäßigkeit der Anordnung bis jetzt nicht erkannt werden konnte. Ein ganz besonders geeignetes Objekt für die feinsten derartigen Untersuchungen bietet sich in den großen Nervenzellen aus dem Gehirn des Zitterrochens dar. Bei der Beobachtung derselben erkannte Max Schulze, daß wahrscheinlich die große Anzahl von Fibrillen, welche in der Ganglienzelle sich befindet, dieselbe nur durchsetzt, ohne in ihr zu endigen oder in ihr zu entspringen. Durch die Fortsätze der Nervenzelle treten teils Nervenprimitivfibrillen in die letztere ein, teils verlassen die Fibrillen die Zellen wieder auf dem Wege anderer solcher Zellfortsätze. Die Fibrillen, welche die Nervenzelle durchsetzen, erfahren nach den Ergebnissen dieser Untersuchungen in der Nervenzelle, wie es scheint, wesentlich nur eine Umlagerung, eine Neugruppierung. Auf dem Wege verschiedener verästelter Fortsätze in die Nervenzelle eingetretene Nervenfibrillen ordnen sich z. B. zu dem Nervenfibrillenbündel des Achsencylinders, des unverästelten oder Nervenfaserfortsatzes, der Zelle und verlaufen in ihm, aus verschiedenen Regionen des Zentralnervensystems herstammend, nachbarlich gelagert zur Peripherie, um sich erst hier wieder nach verschiedenen Richtungen, in verschiedene Organe zu sondern. Nachdem einmal der fibrilläre Bau einzelner besonders großer Ganglienzellen nachgewiesen war, wurde derselbe auch für die Zellen der grauen Rinde des Gehirns des Menschen und sodann überall im Nervensystem konstatiert (s. Abbildung, S. 489).



Zwei Nervenzellen und Fibrillennetz.
a) und b) Nervenzellen, c) Fibrillennetz mit eingestreuten Körnern, d) sich teilende, beiderseits mit dem Fibrillennetz im Zusammenhang stehende Nervenfaser.

Neben den bisher geschilderten relativ großen Ganglien- oder Nervenzellen kommen im Gehirn aber auch in außerordentlich großer Anzahl kleinere Nervenzellen vor, welche z. B. im Kleinen Gehirn dicke Lagen bilden. Ihr großer Kern ist nur von wenig Protoplasma umlagert, welches aber, wie das der größeren Nervenzellen, verästelte Fortsätze, die sich endlich in feinste Nervenprimitivfibrillen auflösen, aussendet. Im Bau zeigen diese kleineren Nervenzellen keinen wesentlichen Unterschied von den größeren Nerven- oder Ganglienzellen, welche früher allein als wahre Nervenzellen gelten sollten. Einige von diesen kleinen Nervenzellen, und zwar die kleinsten derselben, scheinen aber, abgesehen von den sie vielleicht nur umspinnenden Fasern des „Nervenfilzes", nur mit einem einzigen Nervenprimitivfäserchen zusammenzuhängen, sie wären danach in Wirklichkeit unipolar. Außer diesen kleinsten Nervenzellchen finden sich aber noch in nächster Beziehung zu den Nervenfibrillen stehende kugelige Protoplasmakörnchen ohne eine bisher näher erkannte Struktur, doch manches scheint dafür zu sprechen, daß vielleicht in diesen zahllosen Körnchen die wahren Ursprungsstellen der Nervenprimitivfibrillen gesucht werden dürfen.

In der grauen Substanz des Gehirns und Rückenmarks machen neben den Nervenzellen und dickeren Nervenfasern die feinsten Nervenfibrillen und jene kleinen Protoplasmakörnchen die Hauptmasse aus. Die aus der weißen Gehirnsubstanz in die graue, die Nervenzellen bergende Gehirnmasse, welche die Oberfläche des Gehirns, die graue Hirnrinde, bildet, in Bündeln einstrahlenden Nervenfasern ordnen sich zunächst zu einem grobmaschigen Netzwerk, in dessen Lücken die Nervenzellen liegen. Ganz ähnlich ist das Verhalten im Rückenmark. Außer diesen Zellen zeigt sich in den Lücken ein zweites, äußerst feines Netz feinster Nervenfasern, welche sich in wahre, ein engmaschiges Netzwerk darstellende Nervenprimitivfibrillen auflösen. Diese feinsten Fasernetze gehen, wie man beobachtet zu haben glaubt, zum Teil aus der Zerfaserung dicker, markhaltiger und markloser Nervenfasern hervor und hängen anderseits mit den aus den verästelten Nervenzellfortsätzen hervorgehenden Nervenprimitivfibrillen zusammen. Alle diese fast unmeßbar feinen Fäserchen bilden das feinste Fasernetz, welches, zwischen die Nervenzellen eingelagert, diese korbartig umspinnt und untereinander, entweder durch Anlagerung, Kontiguität, indirekt, oder durch wahre Verbindung, Kontinuität, direkt in die mannigfachste Verbindung zu setzen scheint. Gerlach gelang es, den Zusammenhang des Nervenprimitivfibrillennetzes mit den Protoplasmafortsätzen, Nervenzellen einerseits und anderseits mit markhaltigen Nervenfasern direkt nachzuweisen (s. Abbildung, S. 490).

So löst sich unter unseren Händen das bisher geläufige Bild der nervösen Gebilde, welches wesentlich aus dickeren, markhaltigen Nervenfasern und aus relativ großen Ganglienzellen oder Nervenzellen zusammengesetzt schien, in ein Wirrsal feinster Fäserchen und kleinster Protoplasmapünktchen auf. Das physiologische Geschehen im Gehirn und im gesamten Nervensystem erscheint an Formgestaltungen geknüpft, deren äußerste Kleinheit jede Hoffnung auf ein näheres Erkennen der in ihnen sich abspielenden Vorgänge so lange auszuschließen scheint, bis fortgeschrittenere optische Hilfsmittel, als wir sie bis jetzt besitzen, auch in dieses geheimnisvolle Gewirr höhere Klarheit bringen werden.

Woher die Mehrzahl der unzählbaren feinsten Nervenfibrillen stammt, welche in den größeren mikroskopischen Elementarbestandteilen, den größeren Nervenzellen und den altbekannten Nervenfasern, teilweise zusammengefaßt erscheinen, wissen wir nicht. Es ist, wie mehrfach hervorgehoben wurde, lediglich eine Vermutung, daß sie aus jener öfters erwähnten feinkörnigen Masse entspringen, welche wir an verschiedenen Stellen mit ihnen in sehr naher räumlicher Beziehung stehen sehen. Ein Teil mag, nach der Hypothese von Max Schulze, aus jenen kleinsten unipolaren Nervenzellen hervorgehen; vielleicht entspringen, wie gesagt, einige auch aus dem Protoplasma größerer Nervenzellen. Aber für eine bedeutende Anzahl dieser feinsten nervösen Fäserchen scheint

zunächst nur die Vermutung Max Schulzes bestehen zu bleiben, daß sie gar kein zentrales Ende oder gar keinen Ursprung im Gehirn besitzen; sie entspringen vielleicht irgendwo außen in der Peripherie des Körpers, verlaufen von hier in den Bahnen der Nerven zum Zentralnervensystem, durchsetzen dort im Zentrum eine, mehrere oder viele Ganglienzellen und kehren auf neuen Bahnen zu irgend einer Stelle der Peripherie zurück. Auf ihrem zum Teil gemeinsamen Wege zur Peripherie oder zum Zentrum erfahren dann diese Fäserchen, indem sie durch Nervenzellen mit mehrfachen Ausläufern hindurchtreten, neue Anordnungen, Umlagerungen; sie werden voneinander getrennt und mit neuen, von anderer Ursprungsstelle stammenden Fäserchen verbunden.

Die Ganglienzelle mit mehrfachen Ausläufern, die multipolare Nervenzelle, erscheint also nach den geschilderten Untersuchungen vorwiegend als ein Knotenpunkt zahlloser aus verschiedenen Regionen des Nervensystems stammender Einzelfibrillen. Die Fibrillen der verästelten Zellfortsätze laufen teils zentral, zur Nervenzelle, teils peripherisch, von der Nervenzelle weg; aber stets verlaufen auf der Bahn der verästelten Fortsätze zur Nervenzelle Nervenprimitivfibrillen von sehr verschiedener Herkunft und Abstammung. Eine Auswahl aus diesen, neu zusammengeordnet, verläuft, in ein Bündel gefaßt, als Achsencylinderfortsatz der Nervenzelle zur Peripherie, die übrigen ziehen auf den Bahnen der verästelten Fortsätze andere, meist noch unbekannte Wege. Nun ist der Phantasie voller Spielraum geöffnet — die exakte Wissenschaft vertröstet uns mit einer wirklich stichhaltigen Belehrung über den feinsten Bau der Nervensubstanz auf die ferne Zukunft. Und kaum besser steht es, wenn wir die physikalische und chemische Forschung betreffs der Nervensubstanz um Rat fragen.

Die Nervenelektrizität.

Unter den Entdeckungen der modernen Physiologie hat ihrer Zeit wohl keine solches Aufsehen gemacht und so große Popularität erlangt wie die Entdeckung gesetzmäßiger elektrischer Erscheinungen an den Nerven. Lange erhofft, lange vorbereitet, wirkte die Entdeckung der Elektrizitätsentwickelung der Nerven durch Emil Du Bois-Reymond, den großen deutschen Physiologen, wie eine erlösende That und um so mehr, da sich um diese Entdeckung sofort eine neue, in sich geschlossene Disziplin der Gesamtphysiologie entwickelte, die Lehre von der tierischen Elektrizität, welche nach den verschiedensten Richtungen, für die Erforschung der normalen Lebensgesetze wie für Heilung von Krankheiten, neue Gesichtspunkte, neue Forschungsbahnen eröffnete.

Man muß sich, um die Sachlage zu überblicken, daran erinnern, daß von jeher die Elektrizität in Beziehung mit den Lebenserscheinungen gebracht worden war, und daß man die Meinung hatte, die Elektrizität sei, wenn nicht die so lange vergeblich gesuchte Lebenskraft selbst, doch mit dieser hypothetischen Bewegungsursache auf das innigste verwandt. Die Begriffe: Elektrizität und Lebenskraft wurden von den Vertretern der älteren naturphilosophischen Schule meist als gleichbedeutend gebraucht und ihren, wie wir jetzt wissen, so vollkommen verfehlten und damals doch so exakt erscheinenden Hypothesenbauten über das Leben zu Grunde gelegt. Wie mußte es wirken, wenn nun wirklich auf Grund nicht anzuzweifelnder Thatsachen gelehrt wurde, daß das Leben der Nerven mit ganz regelmäßigen und gesetzmäßigen elektrischen Erscheinungen verknüpft sei? Mußte nicht daraus in unklaren philosophierenden und spekulierenden Köpfen die Annahme entstehen, durch diese Entdeckung der Nervenelektrizität sei das alte Geheimnis des Lebens aufgedeckt; ja, durfte man nicht meinen, man habe die „Lebenskraft", die „Seele" selbst, gefunden?

Diese uns jetzt schon beinahe lächerlich erscheinende erste Überschätzung der neugewonnenen Thatsachen wurde allerdings in keiner Weise von dem Entdecker selbst, von Du Bois-Reymond,

geteilt, und in Wirklichkeit konnte sie von Anfang an niemand teilen, welcher einen tieferen Einblick in den thatsächlichen Verhalt der neuentdeckten Gruppe von Lebenserscheinungen zu gewinnen im stande war. Freilich war das anfänglich keineswegs ganz leicht. Sogar von den Ärzten und Physiologen waren die wenigsten wissenschaftlich genügend vorbereitet, selbstforschend in die schwierigen physikalisch-mathematischen Probleme einzutreten, welche die Nervenelektrizität aufstellte, und es mußte erst von Du Bois-Reymond eine Schule physikalisch gebildeter Physiologen erzogen werden, welche die Lehren des Meisters voll verstehen und zum Teil unter seiner Leitung, zum Teil selbständig weiter ausbilden konnten. Aber noch eine andere, weit größere Schwierigkeit für das allgemeine Verständnis der elektrischen Lebenserscheinungen war zu überwinden. Als Du Bois-Reymond im Jahr 1843 zum erstenmal mit den Grundlinien seiner großen Entdeckung hervortrat, wurde allgemein an den Hochschulen noch gelehrt, daß die Elektrizität ein Stoff, eine Flüssigkeit sei, zwar unwägbar und feiner, aber immerhin in den sonstigen Eigenschaften den übrigen Stoffen zuzurechnen. Es mußte erst jene große, durch J. R. Meyer, den Entdecker des Gesetzes von der „Erhaltung der Kraft", angeregte wissenschaftliche Revolution sich Bahn brechen, als deren wichtigstes Ergebnis das Streichen aller sogenannten unwägbaren Stoffe aus der Reihe der physikalischen Existenzen zu bezeichnen ist. Wärme, Licht, chemische Kraft, gröbere mechanische Arbeit sind wie die Elektrizität nichts anderes als Bewegungsformen der Materie, aber nicht selbst Materie. Eine dieser Bewegungen kann in die andere durch geeignete Übertragungsvorrichtungen umgewandelt, alle können in Wärme umgesetzt werden, die Wärmebewegung kann anderseits eine Umwandlung in alle anderen dieser Bewegungsformen der Materie erfahren, so daß wir im stande sind, die Wärme als Maß für alle anderen Bewegungsformen der Materie aufzustellen. Da die mechanische Wärmeeinheit und eine bestimmte mechanische Arbeitsleistung äquivalent sind, so kann eine bestimmte Summe elektrischer Bewegung nicht nur in eine äquivalente Summe von Wärmebewegung umgewandelt und umgerechnet werden, sondern wir können die bestimmte Summe elektrischer Bewegung auch wie die Wärme umwandeln und umrechnen in eine äquivalente Summe mechanischer Arbeit, ausgedrückt in Kilogrammmetern, wie wir das bei der Betrachtung der animalen Wärme in so ausgedehntem Maße gethan haben. Elektrizität ist sonach ebensoviel und ebensowenig wie Wärme, oder wie chemische Bewegung, oder wie gröbere mechanische Arbeitsleistung als „Lebenskraft" oder „animale Seele" zu bezeichnen. Wie die animale Wärme, so geht auch die animale Elektrizität zunächst aus der Umsetzung chemischer Bewegung im Organismus hervor; wir lernten in der animalen Elektrizität nur eine für den Organismus damals neue, uns bis dahin nur aus der unbelebten Natur bekannte Form der materiellen Bewegung kennen, die sich aber voll und ganz den Gesetzen der schon bisher im Organismus bekannten Stoffbewegungen, z. B. denen der Wärmebewegung, unterordnet.

Wenn wir nach diesen Fortschritten unserer theoretischen Erkenntnis die unberechtigten, weit über das Ziel hinausschießenden Hoffnungen und Meinungen über die Tragweite der Entdeckung der Nervenelektrizität zurückweisen müssen, so bleibt ihr trotzdem ein kaum hoch genug anzuschlagender wahrer Wert, der um so größer ist, als uns durch dieselbe zum erstenmal auf das sicherste bewiesen wurde, daß die Lebensvorgänge in den Nerven mit nachweisbaren inneren physikalischen Änderungen im Nerven selbst verknüpft sind. Bis dahin hatten ja die Nerven jedem Einblick in die inneren Bewegungen, welche mit ihrer Thätigkeit verknüpft sind, getrotzt. Du Bois-Reymonds Entdeckungen beweisen uns, daß auch die mechanischen Leistungen der Nerven mit mechanischen Vorgängen verknüpft sind und von diesen bedingt werden, wie wir sie den übrigen Organleistungen unseres Körpers zu Grunde liegend erkannt haben. Mit Einem Schlage befreite uns die Entdeckung der Nervenelektrizität von dem so lange gehegten, aus dem frühesten Altertum in die moderne Wissenschaft herübergenommenen naturphilosophischen

Dogma der Bewegung des als eine Art von feiner Flüssigkeit betrachteten „Nervenäthers", der nichts anderes war als der umgetaufte „Lebensgeist" oder „Nervengeist", der Spiritus animalis der antiken Medizin. Nun ordnet sich die Erzeugung mechanischer Kraft im Nerven der allgemeinen Gesetzmäßigkeit der mechanischen Krafterzeugung in unserem Organismus unter. Wenn wir bis jetzt auch der noch nicht genügend begründeten Hypothesen nicht entraten können, so blicken wir doch in eine Zukunft, in welcher der mechanische Stoff- und Kraftwechsel im Nerven uns in seinen Hauptprinzipien bekannt sein wird.

Treten wir nun in die spezielle Untersuchung ein, so stoßen wir zunächst auf die grundlegende Beobachtung, daß wie außerhalb des animalen Organismus, so auch in diesem bei der Umwandlung chemischer Bewegung in eine andere Bewegungsform, z. B. in Wärme, fast ausnahmslos auch elektrische Bewegung gebildet wird. Das ist der Grund, warum im Organismus kaum eine chemische Aktion eintritt, welche nicht zur Erzeugung von Elektrizität führt; daher sind die chemischen Lebenserscheinungen, nicht nur der Nerven, sondern aller Organe unseres Körpers, mit mehr oder weniger regelmäßigen elektrischen Erscheinungen verbunden. Nicht nur in den Nerven, in noch weit stärkerem Grade als in diesen auch in den Muskeln, den Drüsen und Drüsenzellen, auch in der Haut gehen regelmäßige elektrische Erscheinungen Hand in Hand mit den chemischen Lebensvorgängen, und wir sehen mit der Intensität der letzteren auch die Stärke der mit ihnen ursachlich verknüpften elektrischen Wirkungen auf- und abwärts schwanken und mit dem Aufhören des Lebens verlöschen. Die Nervenelektrizität erweitert sich uns dadurch zur „tierischen Elektrizität", und es ist in dieser Beziehung von ausschlaggebender Bedeutung, daß die Gesetzmäßigkeiten der tierischen Elektrizität zuerst nicht am Nerven, sondern am Muskelgewebe von Du Bois-Reymond aufgefunden worden sind.

Aber wir haben unseren Gesichtskreis noch weiter ausdehnen können. Es gelang uns der Nachweis, daß wie die chemischen Lebensvorgänge in den tierischen Organen, so auch die chemischen Lebensvorgänge in den Pflanzen mit nicht weniger regelmäßigen elektrischen Erscheinungen verbunden auftreten, welche sich, abgesehen von den von vornherein zu erwartenden regelmäßigen Abweichungen, dem gleichen Gesetz wie die animale Elektrizität fügen. Das, was uns in den Nerven als Nervenelektrizität entgegentritt, ist also eine allgemeine Lebenserscheinung der Organismen der beiden organischen Reiche, ganz ihrer Wärmeentwickelung entsprechend. Die hohe Bedeutung der Nervenelektrizität liegt aber darin, daß die elektrischen Bewegungserscheinungen im Nerven bisher ziemlich die einzigen physikalisch-chemischen Vorgänge sind, welche uns von dem inneren Leben der Nerven selbst Kunde geben.

An allen animalen wie pflanzlichen Organen und Geweben können regelmäßige elektrische Erscheinungen nur dann hervortreten, wenn die auf ihre Elektrizitätsentwickelung untersuchten Organe und Gewebe einen vollkommen regelmäßigen anatomischen Bau haben, in welchem die mikroskopischen Elementarbestandteile, wie die Nerven- und Muskelfasern in den Nervenstämmen und vielen Muskeln, in längs gerichteten Reihen nebeneinander herziehen. Den entsprechenden Effekt hat es, wenn regelmäßige parallele Zellreihen, wie in vielen Drüsen, z. B. in den Schlauchdrüsen der Haut oder in Pflanzenteilen, sich aneinander lagern. Bei allen derartig gebauten animalen und pflanzlichen Organen und Geweben lassen sich elektrische Gesamtströme nachweisen, welche die betreffenden Organe im allgemeinen in der Längsrichtung durchziehen. Die elektrischen Verhältnisse sind im Prinzip bei allen animalen Teilen, namentlich aber bei Muskel und Nerv, so vollkommen gleichartige, daß wir die Gesetzmäßigkeit der gesamten animalen Elektrizität in den Gesetzen der Nervenelektrizität kennen lernen. Wir beschränken im folgenden daher unsere eingehenden Untersuchungen zunächst auf die Gesetze der Elektrizitätsentwickelung in den Nerven, jedoch mit beständigem Hinblick auf die entsprechenden Verhältnisse im Muskel.

Da der Wechsel der Lebenserscheinungen der Nerven auf die Erscheinung der Nervenelektrizität einen wichtigen Einfluß ausübt, so müssen wir den Nerven in seinen zwei Hauptlebenszuständen einer gesonderten Betrachtung unterziehen, einmal in dem Zustande der Ruhe und dann in dem Zustande, in welchem der Nerv die Thätigkeit eines Organes vermittelt, welchen wir nun als den thätigen Zustand des Nerven selbst bezeichnen dürfen.

Du Bois-Reymond hat seine grundlegenden Untersuchungen über Nervenelektrizität an herauspräparierten, an beiden Enden durch einen senkrechten Querschnitt begrenzten Nervenstämmen kaltblütiger Tiere, namentlich Frösche, angestellt; er konstatierte aber durch zahlreiche Kontrollversuche, daß dieselben Gesetzmäßigkeiten auch für die Nerven der warmblütigen Tiere und speziell des Menschen Geltung behaupten. Werden solche durch zwei parallele, senkrecht auf die Längsachse gerichtete Querschnitte begrenzte Nervenstücke in passender Weise, so daß ihre Lebenseigenschaften dadurch nicht weiter gestört werden, mit den empfindlichsten galvanischen stromprüfenden Multiplikatoren in Verbindung gesetzt, deren astatischer, der Richtung durch den Erdmagnetismus möglichst entzogener Magnet schon durch sehr schwache elektrische Ströme aus der Ruhelage abgelenkt wird, so beweist die erfolgende Ablenkung des Magnets, daß in dem Nervenstück ein elektrischer Gesamtstrom sich bewegt, welcher im Nervenstück von dem durch einen senkrechten Querschnitt begrenzten Ende, namentlich stark von dem Querschnitt aus selbst, zu jedem beliebigen Punkt der Längsoberfläche des Nervenstückes gerichtet ist. Da das zur Untersuchung dienende herauspräparierte, im allgemeinen cylindrische Nervenstück, wie gesagt, durch zwei Querschnitte an seinen beiden Enden begrenzt ist, so bewegt sich z. B. von jedem dieser Enden des mit zwei Multiplikatoren leitend verbundenen Nervenstückes her je ein elektrischer Gesamtstrom in der Längsrichtung des Nerven, einer dem anderen entgegengesetzt, gegen die gewählten Ableitungspunkte an der Längsoberfläche des Nervenstückes. Am stärksten tritt jeder dieser beiden Gesamtströme hervor, wenn der zur Ableitung des Stromes gewählte Punkt der Längsoberfläche des Nervenstückes etwa gleichweit von den beiden Endquerschnitten desselben entfernt ist. Diese mittlere, im speziellen Falle durch Messung der Stromstärken exakt zu bestimmende Partie der Längsoberfläche des Nervenstückes, welche wir uns auf eine den Nerven umkreisende Linie beschränkt denken können, wird als „Äquator des Nerven“ bezeichnet. Du Bois-Reymond bezeichnete diese zwischen Querschnitt und Längsoberfläche des Nervencylinders abgeleiteten elektrischen Ströme ihrer bedeutenden Intensität wegen als „starke Ströme“. Ihnen stehen die „schwachen Ströme“ gegenüber, welche von zwei unsymmetrisch zum „Äquator“ auf der Längsoberfläche des Nervencylinders liegenden Punkten abgeleitet werden können. Verbindet man zwei symmetrisch zum Äquator des Nervencylinders gelegene Punkte ableitend mit der empfindlichsten stromprüfenden Vorrichtung, so wird der Magnet dadurch nicht abgelenkt; diese Anordnung ist vollkommen unwirksam zum Beweise, daß sich hierbei die bei anderen Anordnungen hervortretenden elektrischen Gegensätze vollkommen das Gleichgewicht halten.

In allen diesen Beziehungen stimmte das Verhalten des „ruhenden Nervenstromes“ mit dem Verhalten des „ruhenden Muskelstromes“ ganz überein. Trennen wir aus einem lebensfrischen, einem soeben getöteten kaltblütigen oder warmblütigen Tiere oder Menschen entnommenen parallelfaserigen Muskel ein beliebig dickes Faserbündel und begrenzen dasselbe an beiden Enden, wie das oben bei den Nerven geschah, durch zwei auf die parallele Faserrichtung senkrechte Querschnitte, so können wir von dem so zugerichteten Muskelcylinder die gleichen elektrischen Strömungen, nur in bedeutenderer Intensität, wie von dem Nervencylinder ableiten. Die elektrischen Strömungen treten bei noch vollkommen lebenskräftigen Muskeln um so stärker auf, je dicker und länger das Muskelstück ist, von dem man sie ableitet. Da die Muskeln aber im allgemeinen massiger sind als die Nervenstämme, so gestatten sie Beobachtungen, welche die Nervenstämme,

namentlich jene zarten des Frosches, schon der kleinen Dimensionen ihrer Querschnitte wegen nicht ausführen lassen. Da jedoch die Analogie zwischen den elektrischen Erscheinungen des „ruhenden Muskelstromes“ und des „ruhenden Nervenstromes“ eine vollkommene ist, soweit eine Vergleichung ausgeführt werden kann, so ist es erlaubt, anzunehmen, daß die aus dem angeführten Grunde lediglich am Muskel zu beobachtenden Verhältnisse auch für den Nerven Geltung beanspruchen. An dem für den elektrischen Versuch in der oben für den Nerven angegebenen Weise zugerichteten Muskelcylinder läßt sich nicht nur an der Längsoberfläche wie an der des Nerven ein „Äquator“ nachweisen, welcher, ganz wie dort die „starken Ströme“, die „schwachen Ströme“ und die „unwirksame Anordnung“ bedingt; es zeigt sich, daß auch an den Querschnitten sich Verhältnisse erkennen lassen, welche in gewissem Sinne mit den an der Längsoberfläche beobachteten identisch sind. Denken wir uns die Mittelpunkte der beiden Querschnitte durch eine ideale gerade Linie, eine den Muskelcylinder parallel zu seiner Faserrichtung in der Mitte durchziehende Achse, verbunden, so erscheint der Mittelpunkt des Querschnittes jederseits als Endpunkt dieser Muskelachse. Du Bois-Reymond konstatierte, daß zwischen allen unsymmetrisch zum Mittelpunkt des Querschnittes (im allgemeinen unsymmetrisch zur Achse) gelegenen Ableitungspunkten ein „schwacher Strom“ nachgewiesen werden kann, während eine Ableitung von symmetrisch zum Mittelpunkt des Querschnittes oder zur Achse gelegenen Punkten einen elektrischen Strom vollkommen vermissen läßt. Anderseits beweist uns der Versuch am Muskel, daß es für die Beobachtung des ruhenden elektrischen Muskelstromes gleichbedeutend ist, ob wir die natürliche Längsoberfläche des unverletzten Muskels oder die künstliche Längsoberfläche eines herauspräparierten Muskelbündels zur Ableitung des Stromes wählen.

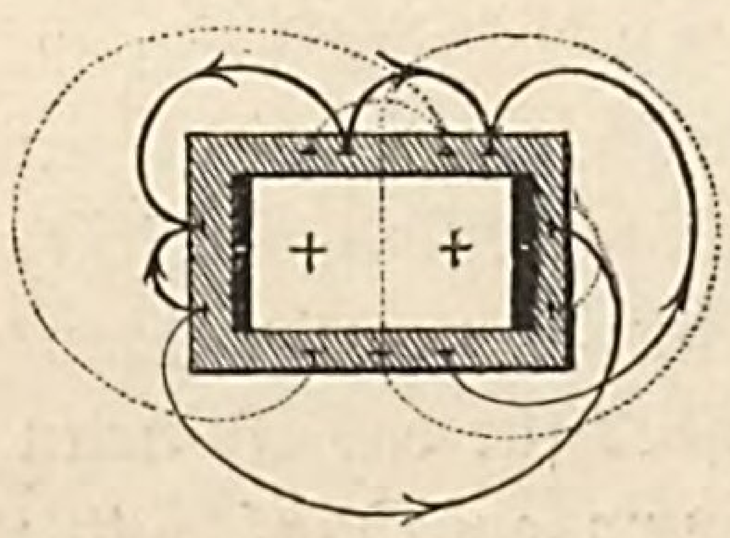
Es läßt sich mit Leichtigkeit der Nachweis führen, daß jedes aus einem Muskel herausgeschnittene Stück oder Stückchen, mag es groß oder nur so klein sein, daß es bloß eben noch die exakte Durchführung der Beobachtung gestattet, wenn es nur parallelfaserig und von senkrecht auf die Faserrichtung geführten Querschnitten begrenzt ist, die gleiche Gesetzmäßigkeit des ruhenden elektrischen Stromes erkennen läßt. Dieser Satz, welchen wir auch auf den Nerven zu übertragen haben, bietet uns die Grundlage für eine Zurückführung der elektrischen Lebenserscheinungen überhaupt auf molekulare Verhältnisse. An dem Muskel erkennen wir aber auch weiter, daß der elektrische Gegensatz zwischen Längsoberfläche und Querschnitt kein durch die Anlage „künstlicher“ Querschnitte künstlich hervorgerufener ist. Wir können am unverletzten Muskel die gleichen elektrischen Verhältnisse nachweisen wie am präparierten Muskelcylinder, wenn wir die natürliche Längsoberfläche des ersteren in elektrisch leitende Verbindung setzen mit der natürlichen unverletzten Endsehne desselben. Die Sehne des Muskels verhält sich elektrisch wie der künstliche Muskelquerschnitt, wir haben ihn daher als „natürlichen Querschnitt“ des Muskels anzusprechen. Du Bois-Reymond ist es sogar gelungen, durch die Haut hindurch den elektrischen Muskelstrom zu konstatieren, so daß kein Zweifel mehr darüber bestehen kann, daß auch am vollkommen unverletzten lebenden Organismus jene elektrischen Ströme die Lebensvorgänge begleiten. An den Nervenstämmen, welche sich meist gegen ihr Ende zu, wie wir hörten, in einen Endbusch von feinsten Fäserchen auflösen, ist der Nachweis eines der natürlichen Querschnitte aus diesem Grunde im allgemeinen nicht möglich. Aber auch für den Nerven bietet uns die Natur wenigstens ein Beobachtungsobjekt dar, welches uns beweist, daß auch in Beziehung auf die Verhältnisse des Querschnittes vollkommene Harmonie zwischen Muskel- und Nervenelektrizität existiert. Der Sehnerv geht im Auge in eine breite Endfläche, die Netzhaut, aus; diese ist sonach anatomisch ein natürlicher Nervenquerschnitt, der sich auch elektrisch als ein solcher erweist.

Die „starken Ströme“ verlaufen nach der oben gegebenen Darstellung im Nerven wie im Muskel vom künstlichen wie vom natürlichen Querschnitt zur künstlichen oder natürlichen

Längsoberfläche. Der Querschnitt verhält sich sonach elektrisch negativ gegen die elektrisch positive Längsoberfläche der elektromotorisch wirksamen animalen Organe. Am stärksten negativ erscheint der Mittelpunkt des Querschnittes, die Achse, am stärksten positiv dagegen der Äquator der Längsoberfläche. Punkte des Querschnittes, symmetrisch gelagert zur Achse des Querschnittes, zeigen gleiche negative Spannung, Punkte der Längsoberfläche, symmetrisch zum Äquator der Längsoberfläche gelagert, zeigen gleiche positiv elektrische Spannung; das ist der Grund, warum von symmetrisch zum Äquator oder zur Achse gelegenen Punkten keine elektrischen Ströme erhalten werden können. Dagegen läßt sich nachweisen, daß mit der steigenden Entfernung von dem am stärksten positiv wirksamen Äquator die positive elektrische Spannung abnimmt; verbinden wir daher zwei unsymmetrisch zum Äquator gelagerte Punkte der Längsoberfläche miteinander ableitend, so erhalten wir dieser Differenz wegen einen wenn auch schwachen elektrischen Strom. Ebenso nimmt mit der steigenden Entfernung von dem am stärksten elektrisch negativ wirksamen Mittelpunkt des Querschnittes, von der Achse, die negative Spannung ab, während symmetrisch zum Querschnittsmittelpunkt gelagerte Punkte des Querschnittes gleiche elektrisch negative Spannung zeigen. Darin liegt wie an der Längsoberfläche der Grund einerseits für das Auftreten „schwacher Querschnittströme", anderseits für die „unwirksame Anordnung am Querschnitt"; letztere zeigt sich, wie wir sahen, dann, wenn symmetrisch zum Querschnittsmittelpunkt gelagerte Querschnittspunkte ableitend miteinander verbunden werden. Schwächer positiv elektrische Spannung verhält sich nun aber bekanntlich gegen stärkere wie schwach negative Spannung gegen positive, und umgekehrt schwächere negative Spannung gegen stärkere negative Spannung wie schwach positive gegen negative Spannung. Daraus erklärt es sich, daß in elektromotorischer Beziehung ein dem Querschnitt näher gelegener Punkt der Längsoberfläche sich zu einem im Äquator selbst oder im allgemeinen zu einem dem Äquator näher gelegenen Punkte der Längsoberfläche wie ein Querschnittspunkt verhält, mit anderen Worten, daß sich im elektromotorischen animalen Organ selbst, im Muskel wie im Nerven, der „schwache Strom" von jenem Ableitungspunkt, der Längsoberfläche, welcher dem Querschnitt näher liegt, zu dem von letzterem entfernter, daher dem Äquator näher gelegenen Punkte bewegt, während umgekehrt der schwache Querschnittstrom im elektromotorischen animalen Organ von dem dem Mittelpunkt des Querschnittes näher gelegenen Ableitungspunkt zu dem dem Längsschnitt näher, also dem Querschnittsmittelpunkt entfernter gelagerten gerichtet ist. In elektromotorischer Beziehung verhält sich sonach ein dem Querschnitt näher gelegener Punkt des Längsschnittes zu einem vom Querschnitt entfernter gelegenen wie ein Querschnittspunkt, die Wirkung ist nur schwächer; ein der Längsoberfläche näher gelegener Punkt des Querschnittes verhält sich elektromotorisch zu einem von der Längsoberfläche entfernter gelegenen Punkte wie ein Punkt der Längsoberfläche, nur mit schwächerer Wirkung.

Es treten übrigens auch ganz regelmäßige elektrische Strömungserscheinungen an einem parallelfaserigen Muskelcylinder auf, welchen man nicht durch zwei senkrecht zur Achse geführte Querschnitte, sondern durch zwei parallele, schräg zur Achse geführte Querschnitte begrenzt hat. Du Bois-Reymond bezeichnet die an derartig zugerichteten, rhombusähnlichen Muskeln zu beobachtenden elektrischen Ströme im Gegensatz gegen den „ruhenden Muskelstrom", dessen Gesetze wir im vorstehenden kennen gelernt haben, als „Neigungsströme". Es ergibt sich, daß alle Punkte der Muskeloberfläche nahe den beiden stumpfen Rhombusecken sich stark positiv verhalten gegen Punkte nahe den beiden spitzen Rhombusecken, gleichviel ob die gewählten Punkte der Längsoberfläche oder einem der schiefen Querschnitte angehören. An Muskeln, deren Faserverlauf, wie z. B. am Zwillingswadenmuskel &c., schräg gegen die Sehne gerichtet ist, treten „natürliche Neigungsströme" auf.

Wie gesagt, zeigen die kleinsten, eine genaue Beobachtung mit elektrischen Prüfungsapparaten noch eben zulassenden Teilchen von lebensfrischen Nerven und Muskeln den gesetzmäßigen „ruhenden“ elektrischen Strom; dasselbe gilt für die Neigungsströme, welche übrigens bisher unter den animalen Geweben nur am Muskel nachgewiesen worden sind. Wir können uns in Gedanken die Muskeln und Nerven in minimalste parallelfaserige Stückchen, begrenzt durch zwei senkrechte Querschnitte, zerlegt denken, und alles spricht dafür, daß auch solche kleinste „Muskel- und Nervenmoleküle“ noch in der gleichen Weise wie größere Nerven- und Muskelcylinder oder unverletzte, durch natürlichen Querschnitt und natürliche Längsoberfläche begrenzte Muskeln und Nerven elektromotorisch wirksam sind. Das war der Gedankengang, welcher du Bois-Reymond zur Aufstellung seiner elektrischen Molekularhypothese für Erklärung der elektromotorischen Erscheinung des Muskel- und Nervenstromes führte. Nach dieser Hypothese erklären sich die Erscheinungen des ruhenden Muskel- und Nervenstromes in der Weise, daß die elektromotorischen Organe zusammengesetzt sind aus Parallelreihen elektromotorisch wirksamer Moleküle, genau ebenso wie ein durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzter größerer Muskel- oder Nervencylinder, alle eingebettet in eine elektromotorisch indifferente, aber den elektrischen Strom leitende Flüssigkeit. Wir können uns zunächst jedes dieser elektrischen Muskel- oder Nervenmoleküle von der Gestalt eines kleinsten, durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzten, parallelfaserigen, cylindrischen Muskel- oder Nervenstückes denken (s. nebenstehende Abbildung). Jeder der beiden Querschnitte verhält sich hier wie dort elektrisch negativ gegen die Längsoberfläche. Ein Cylinder aus Kupfer mit zwei senkrechten, aufgelöteten Endplatten aus Zink, eingebettet in eine leitende Flüssigkeit, z. B. mit Schwefelsäure angesäuertes Wasser, zeigt die gleichen elektromotorischen Verhältnisse, die gleichen elektrischen Strömungserscheinungen wie ein Muskel- oder Nervencylinder. Ordnen wir eine größere Anzahl möglichst kleiner Kupfer-Zinkcylinder von der angegebenen Bauzusammensetzung in parallele Reihen hinter- und nebeneinander und betten sie in eine elektrisch leitende Flüssigkeit ein, so erhalten wir auch von diesem Schema der elektrischen Molekularstruktur der Muskeln und Nerven im Prinzip die gleichen elektromotorischen Wirkungen wie vom Nerven- und Muskelcylinder. Es ist selbstverständlich, daß in den lebenden, elektrisch wirksamen Organen nicht, wie in dem Schema, elektrisch gegeneinander thätige Metalle vorhanden sind; es sind chemische, an die anatomischen Bauelemente der Nerven und Muskeln wie aller Zellen und Zellenabkömmlinge geknüpfte Differenzen, welche in dem Sinne der du Bois-Reymondschen Moleküle wirksam werden. Die elektrischen Moleküle der lebenden Gewebe und Organe erscheinen als Herde besonders lebhafter, in ganz bestimmter Richtung wirkender chemisch-physiologischer Thätigkeit. Das Molekularschema läßt uns aber die allgemeinsten Verhältnisse der betreffenden Vorgänge, welche im Einzelfalle doch nur schwer darstellbar sind, auf Einen Blick, wenn auch schematisch, doch klar überblicken.

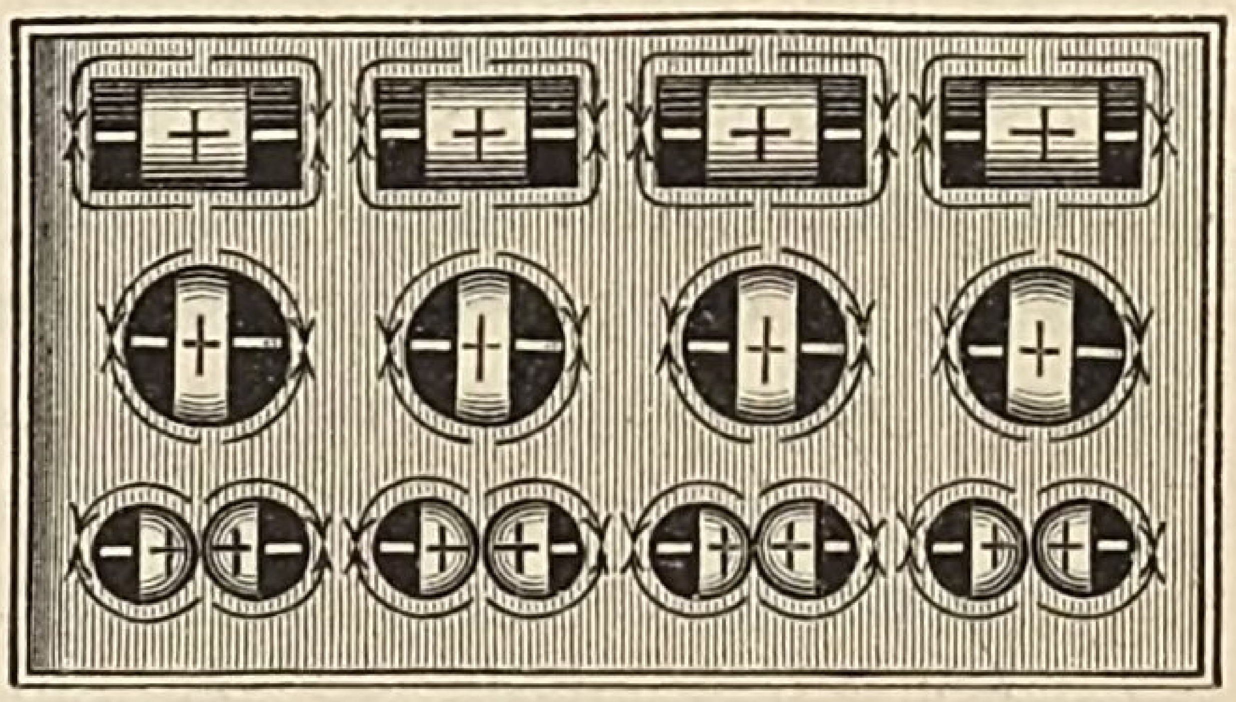


Schema der elektrischen Wirkung eines Muskel- oder Nervenstückes. Die Pfeile geben die Stromrichtung an, die punktierten Bogen bezeichnen die unwirksame Anordnung.

Um gewisse Bewegungserscheinungen des elektrischen Muskel- und Nervenstromes schematisch anschaulicher machen zu können, gibt du Bois-Reymond seinen elektrischen Molekülen eine kugelige Gestalt; die Mittelzone dieser kleinen Kugeln ist positiv, zwei einander gegenüberliegende Außenzonen negativ elektrisch, als bestände die Mittelzone aus Kupfer, die beiden Außenzonen aus Zink. Es sind das du Bois-Reymonds „peripolare Moleküle“ (s. Abbildung, S. 499). Für manche elektrische Vorgänge erfordert die schematische Erklärung durch die Molekularhypothese die weitere Annahme, daß jedes solches peripolare Molekül in Wahrheit aus zwei ebenfalls am besten kugelig zu denkenden, noch kleineren Molekülen zusammengesetzt sei, von denen jedes eine negative

und eine positive Hälfte besitzt. Dies sind du Bois-Reymonds „dipolare Moleküle“, welche für die schematische Erklärung der Erscheinungen des „ruhenden“ Muskel- und Nervenstromes in Parallelreihen, eingebettet in eine leitende Flüssigkeit, so angeordnet zu denken sind, daß immer je zwei sich elektrisch gleichartigen Seiten zuwenden. Haben wir nur zwei dipolare Moleküle, so wenden sich dieselben bei dem ruhenden Muskel- und Nervenstrome die beiden positiven, der Längsoberfläche entsprechenden Seiten zu und kehren die beiden negativen, dem Querschnitt entsprechenden Seiten nach außen. Du Bois-Reymond nennt diese hypothetische Grundstellung: „die peripolare Anordnung der dipolaren elektrischen Moleküle“. Unter anderen Umständen ist es aber auch möglich, daß die dipolaren elektrischen Moleküle ihre peripolare Anordnung aufgeben und sich in Reihen ordnen, in denen jedes der kleinen dipolaren Moleküle dem Nachbarmolekül die elektrisch entgegengesetzte Seite zuwendet; diese abgeleitete Stellung ist es, welche du Bois-Reymond als „dipolare Anordnung der dipolaren Moleküle“ bezeichnet.

Die Molekularhypothese verlegt also den Grund der elektrischen Wirksamkeit der Muskeln und Nerven (wie aller elektrisch wirksamen Organe und Gewebe sonst) von der Oberfläche, an welcher sie zunächst zur Beobachtung kommt, in das Innere der Organe. Kleinste elektrisch wirksame Herde haben wir anzunehmen, welche durch die indifferente, aber elektrisch leitende Zwischensubstanz ihre verschieden gerichteten, einander zum Teil entgegengesetzten elektrischen Ströme senden. Das, was uns als elektrischer Gesamtstrom des Muskels oder Nerven entgegentritt, ist ein Ausgleichungsprodukt, eine algebraische Summe zahlloser Einzelströmchen, die von den elektrischen Elementarherden, den elektrischen Molekülen, ausgehen. Während sich aber die elektrischen Strömungen im Inneren der elektrisch wirksamen Organe, weil einander entgegengesetzt, der Hauptsache nach gegenseitig aufheben, paralysieren müssen, kommt die elektrische Thätigkeit der jedesmal oberflächlich gelegenen Moleküle fast ausschließlich zur Wirkung. Die scheinbar absolute Schwäche, mit welcher die elektrischen Strömungen der Organe bei den Multiplikatorbeobachtungen in Erscheinung treten, ist durch diese gegenseitige Paralysierung der meisten Molekularströme im Inneren der elektrisch wirksamen Organe bedingt; in Wahrheit ist die Summe der elektrischen Bewegung eine relativ sehr bedeutende, und es wurde messend festgestellt, daß die elektromotorische Kraft der starken Muskelströme etwa ein Zehntel der elektromotorischen Kraft eines galvanischen Zink-Kupferelements erreicht.



Schema der elektrischen Muskel- und Nervenmoleküle. In der ersten und zweiten Reihe peripolare, in der dritten dipolare, peripolar angeordnete Moleküle. Vgl. Text, S. 498.

Die elektrische Thätigkeit der Muskeln und Nerven wie aller übrigen Organe ist an den ungestörten Fortgang der übrigen Lebenserscheinungen derselben auf das innigste geknüpft, sie erscheint selbst als eine der charakteristischsten und daher wichtigsten Lebensäußerungen. Alles, was die Lebensenergie der Organe steigert, erhöht auch ihre elektrische Wirksamkeit; alles, was jene schwächt, schwächt auch diese. So sehen wir durch Kälteeinwirkung die elektrische Wirksamkeit der Muskeln und Nerven sinken, durch zunehmende Wärme innerhalb der normalen Grenzen der animalen Temperatur dagegen steigen. Der elektrische Muskel- und Nervenstrom, welchen wir hierin als Repräsentanten aller Organströme betrachten dürfen, ist nur dem lebenden, leistungsfähigen Organ eigen. Nach dem Tode des Tieres nimmt die Stärke der Ströme seiner Muskeln und Nerven nach und nach ab, und dieselben erlöschen endlich vollkommen. Eine merkwürdige und charakteristische Erscheinung zeigen die Muskel- und Nervenströme oftmals noch vor ihrem gänzlichen Verschwinden: eine vollkommene Umkehr der Stromrichtung, so daß sich nun der normal

negative Querschnitt positiv gegen die Längsoberfläche verhält. Alles übrige gleichgesetzt, ist ihr normaler elektrischer Strom um so stärker, je leistungsfähiger Muskel oder Nerv ist. Starke Ermüdung, Krankheiten, viele Vergiftungen, alle Todesarten, welche auch nach den sonstigen Erfahrungen die Lebenseigenschaften der Organe rasch vernichten, verhalten sich ebenso gegen den elektrischen Strom. Daraus erklärt es sich auch, daß bei warmblütigen Tieren und bei dem Menschen die normalen elektrischen Erscheinungen der Nerven und Muskeln nach dem Tode des Organismus viel rascher verschwinden als bei kaltblütigen Tieren, deren Muskeln tage-, ja unter besonders günstigen Umständen eine Woche lang nach dem Schlachten des Tieres noch ihre Zuckungsfähigkeit geeigneten Reizen gegenüber zeigen, bis dahin sonach einen wesentlichen Teil ihrer Lebensfähigkeiten bewahren können. Dagegen genügen wenige Stunden, um bei Menschen und Säugetieren, noch rascher bei Vögeln, die Lebensenergie der Muskeln verschwinden, letztere totenstarr werden zu lassen. Das Leben der Nervenstämme von Menschen, Säugetieren und Vögeln erlischt sehr rasch, die Lebensthätigkeit der nervösen Zentren im Gehirn des Menschen, wie es scheint, momentan mit dem Aussetzen der Blutzirkulation.

So innig der Zusammenhang des „ruhenden elektrischen Stromes“ der Nerven und Muskeln mit den allgemeinen Lebenseigenschaften dieser wichtigsten Organe unseres Körpers auch nach dem bisher Mitgeteilten schon erscheint, so haben wir doch noch eine Reihe von Thatsachen kennen zu lernen, welche uns beweisen, daß die elektromotorischen Erscheinungen an den Organen nicht etwa nur gleichgültige Zufälligkeiten sind, sondern daß sie mit der allgemeinen für die Lebenszwecke nötigen Kraftproduktion der Organe auf das innigste zusammenhängen.

Die Produktion aller mechanischen Bewegungskräfte im Muskel und im Nerven beruht, wie wir wissen, auf chemischen Vorgängen in diesen Organen. Von letzteren sahen wir in den vorausgehenden Kapiteln die Wärmebildung der Organe wie des Gesamtorganismus und ihre gröberen mechanischen Leistungen bedingt, in den elektrischen Erscheinungen lernten wir nun noch eine neue Form der Stoffbewegung kennen, welche sich auf die gleichen bedingenden Ursachen gründet. Die mechanischen Leistungen in den Muskeln sahen wir mit lebhaften chemischen Umwandlungen in denselben verknüpft, wir dürfen uns daher auch nicht wundern, wenn die auf dem ungestörten Ablauf der chemischen Lebensthätigkeiten im ruhenden Muskel beruhende Entwickelung des „ruhenden Muskelstromes“ durch den Übergang des Muskels in den thätigen Zustand eine wesentliche Änderung erleidet. Du Bois-Reymond hat wirklich den entscheidenden Nachweis geführt, daß der thätige Zustand des Muskels sich von dem unthätigen durch eine wesentliche Verschiedenheit in dem elektromotorischen Verhalten different erweist. Aber es gelang auch, zu konstatieren, daß die gleichen Verschiedenheiten auch bei dem Nerven auftreten, daß der thätige Nerv von dem ruhenden sich in elektrischer Beziehung in ganz entsprechender Weise unterscheidet wie der thätige von dem ruhenden Muskel.

Vor dieser bahnbrechenden Entdeckung du Bois-Reymonds hatten wir keinerlei Hilfsmittel, den thätigen Zustand des Nerven von dem ruhenden objektiv zu unterscheiden. Wird der Nerv, welcher z. B. irgend eins unserer Bewegungsglieder zu seiner Thätigkeit veranlaßt, vom Zentrum unserer Willkür aus oder durch einen von außen her ihn treffenden Reiz aus dem Zustande der Ruhe in den thätigen Zustand übergeführt, so gibt uns keine äußerlich auch mit den stärksten optischen Hilfsmitteln sichtbare, keine mit den bisherigen Hilfsmitteln der chemischen Forschung chemisch nachweisbare Veränderung irgend einen Anhaltspunkt zur Unterscheidung, und doch muß ja etwas im Nerven sich verändern, denn wir sehen, daß er einmal seinen Muskel in voller Ruhe läßt, ein andermal denselben zu den lebhaftesten Kraftäußerungen veranlaßt. Dasselbe müssen wir voraussetzen, wenn von den Empfindungs- und Sinnesnerven aus Bewegungen der Außenwelt in lebhafte Empfindungen in uns umgesetzt werden. Es fehlte nicht an Hypo-

thesen, um diese rätselhaften, unserer sinnlichen Wahrnehmung, wie es schien, für ewig verschlossenen Probleme zu erklären; aber alle stürzten, als du Bois-Reymond den so außerordentlich einfachen wahren Sachverhalt aufdeckte. Der thätige Zustand des Nerven unterscheidet sich von dem ruhenden Zustande desselben durch eine rasch entstehende, rasch wieder verschwindende Modifikation seines elektrischen Verhaltens, beruhend auf ebenso rasch eintretenden und wieder ausgeglichenen chemischen Molekularvorgängen. Wie schon oben angedeutet, ist auch in dieser Beziehung das elektrische Verhalten der Muskeln und Nerven identisch: Nerven und Muskeln zeigen bei dem Übergang aus dem ruhenden in den thätigen Zustand eine Abnahme ihres mit stromprüfenden Apparaten ableitbaren „ruhenden" elektrischen Stromes. Diese Abnahme wird bezeichnet als negative Schwankung des Nerven- und Muskelstromes. Mag die Erregung des lebensfrischen Nerven durch physiologische, chemische, mechanische oder elektrische Reize erfolgen, das Resultat ist stets das gleiche: im Moment der Erregung zeigt sich eine Abnahme der Stärke des ruhenden Nervenstromes, zeigt sich eine negative Schwankung desselben. Dasselbe ist bei dem Muskel der Fall.

Bei den verschiedenen Nervengattungen, bei den Bewegungs-, Empfindungs-, Absonderungsnerven, ist der Vorgang der gleiche. Der verschiedene Erfolg der Reizung der verschiedenen Nervengattungen beruht sonach nicht auf einer Verschiedenheit des Erregungszustandes der Nerven selbst, sondern lediglich auf einer Verschiedenheit in dem Bau und den Verrichtungen jener Organe, der nervösen Erfolgsorgane, Muskeln, Drüsen, Nervenzellen, welche durch den in Qualität sich, wie es sonach scheint, stets gleichbleibenden Anstoß von seiten der Nerven zur Thätigkeit angeregt werden.

So war denn durch du Bois-Reymond das, was die Wissenschaft so lange vergeblich gesucht hatte, erwiesen. Doch wie ganz anders hatte sich das Verhältnis gestaltet, als man erwartet hatte. Das Leben ist wirklich mit elektrischen Vorgängen auf das innigste verknüpft, aber gerade durch den exakten Nachweis derselben fielen die alten Hypothesen von einer Lebenselektrizität in ihr Nichts zusammen. Wie nahe schien es zu liegen, daß die elektrischen Ströme, die man im Organismus bis dahin hypothetisch voraussetzte, im Gehirn entständen, von dem man z. B. die Willensantriebe durch die Nerven den Muskeln mitgeteilt sah, mit einer Schnelligkeit, die man allein mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität vergleichen zu können meinte. Diese Mitteilung schien in der Weise zu erfolgen wie die Mitteilung der Bewegung in einer Telegraphenleitung. Im Gehirn hatte man sich eine galvanische Batterie gedacht, welche wie durch Telegraphendrähte ihre Ströme durch die Nerven als die besten oder vielleicht ausschließlichen Leiter der Elektrizität im Organismus dem Muskel zusendet, der dadurch wie ein telegraphischer Schreibapparat in Thätigkeit versetzt wurde.

Schon durch die Entdeckung, daß die Muskeln selbst Elektromotoren seien, war allen derartigen Theorien die Spitze abgebrochen. Aber wir können uns nach den Entdeckungen du Bois-Reymonds auch die Nerven nicht mehr als einfache Leiter einer Gehirnelektrizität denken. Auch der Nerv ist wie der Muskel, wir dürfen sagen, wie jede Zelle, ein Elektromotor, selbst einer elektrischen Batterie mit Leitungen vergleichbar. In ihm kreisen nach dem gleichen Gesetz wie im Muskel bis zu seinem Absterben die gesetzmäßig gerichteten elektrischen Ströme. Je leistungsfähiger der Nerv ist, desto größer ist die Intensität seiner elektromotorischen Kraft. Der Vergleich mit dem Telegraphendraht wird schon dadurch hinfällig, daß dieser lediglich ein Leiter der anderswo erzeugten elektrischen Bewegung ist, während zu dem Wesen des Nerven ein eigentümliches, ihm selbst innewohnendes elektromotorisches Verhalten gehört. Und so sicher es vorausgesetzt werden muß, daß elektrische Erscheinungen auch zu den Lebensthätigkeiten der Nerven- oder Ganglienzellen im Gehirn, und wo sie sonst vorkommen, gehören, der objektive Nachweis solcher

elektrischer Ströme selbst in diesen nervösen Zentralorganen ist bisher noch nicht gelungen. Um so weniger kann bis jetzt die Idee Geltung beanspruchen, daß das Gehirn eine galvanisch-elektrische Batterie sei. Wir zweifeln nicht daran, daß jede Ganglienzelle nach der nachweisbaren Verschiedenheit in der chemischen Reaktion des Zellkernes und des umgebenden Protoplasma (ersterer ist sauer, letzteres neutral oder schwach alkalisch), wodurch galvanische Ströme hervorgerufen werden, als eine kleine galvanische Batterie angesprochen werden darf; aber dieses Verhalten teilt die Ganglienzelle mit allen Zellen unseres Organismus. Auch dieser Beweis schießt daher weit über das Ziel, welches wir zu erreichen gehofft haben, hinaus.

Auch das so lange geträumte bessere elektrische Leitungsvermögen der Nerven, welches sie zu Leitungsorganen für die elektrischen, im Gehirn erzeugten Ströme besonders geeignet machen sollte, haben unsere Beobachtungen beseitigt; nach diesen allseitig bestätigten Beobachtungen leiten alle lebenden feuchten Gewebe des animalen Organismus, mit Ausnahme der Knochen (und der trockenen Oberhaut), etwa gleich gut oder vielmehr gleich schlecht und zwar etwa dreimillionenmal schlechter als Quecksilber. Die Knochen leiten die Elektrizität noch schlechter. Trocken sind alle animalen Gewebe leitungsunfähig. Die Nerven eignen sich also nicht zu einfachen Leitern elektrischer Ströme im Organismus, diese verbreiten sich nach allen Richtungen ziemlich gleichmäßig wegen des fast absolut gleichen Leitungswiderstandes aller animalen Gewebe, von denen nur die trockene Oberhautschicht des menschlichen Organismus eine Ausnahme macht, indem sie für elektrische Ströme der mangelnden Feuchtigkeit wegen beinahe vollkommen undurchgängig ist.

Definitiv wurde aber die Idee, daß die Nerven einfache Leiter der Gehirnelektrizität seien, durch Helmholtz zurückgewiesen. Helmholtz maß mit den schärfsten zeitmessenden Hilfsmitteln die Zeit, welche verstreicht, bis nach erfolgtem Nervenreiz der von dem gereizten Nerven versorgte Muskel zu zucken beginnt. Es stellte sich heraus, daß, wenn der Nerv an zwei voneinander entfernten Stellen gereizt wurde, der Erfolg der Reizung, der Eintritt der Muskelzuckung von der vom Muskel entfernter gelegenen Stelle aus sich meßbar verspätete im Vergleich mit dem Reizerfolg von der dem Muskel näher gelegenen Stelle aus. Die Erregung des Nerven bedarf also einer meßbaren Zeit, bis sie sich durch eine Nervenstrecke von einer gewissen Länge fortpflanzt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenerregung, am lebenden Menschen gemessen, fand Helmholtz für Bewegungs- und Empfindungsnerven annähernd gleich zu 30—40 m in der Sekunde. Die Froschnerven leiten noch etwa um ein Drittel langsamer, nur 26—30 m in der Sekunde. Mit dieser Bestimmung war es unweigerlich bewiesen, daß die Fortpflanzung der Erregung im Nerven kein einfacher Leitungsvorgang eines elektrischen Stromes sein kann, denn nach Wheatstones Messungen pflanzt sich die Elektrizität in der Sekunde um 288,000 englische Meilen fort! Wir entnehmen du Bois-Reymond folgende Tabelle:

Geschwindigkeit der Bewegung	Meter in der Sekunde	Geschwindigkeit der Bewegung	Meter in der Sekunde
der Elektrizität (Wheatstone) . .	464 000 000	der Nervenerregung des Menschen.	30—40
des Lichtes	300 000 000	der Nervenerregung des Frosches .	26—30
des Schalles in der Luft	332	der Muskelzusammenziehung . .	0,8—1,2
einer Sternschnuppe	64 380	des Pulses (Welle des Arterienrohres)	9,25
der Erde bei ihrer Bewegung um die Sonne	30 800	des Blutes in der Halsschlagader des Hundes	0,2—0,3
einer Kanonenkugel (S. Haughton)	465	des Blutes in den Haargefäßen .	0,0006—0,0009
des Windes	40	der Teilchen, welche durch die Haare der Flimmerzellen bewegt werden	0,00007
des Adlerfluges (Simmler) . . .	35		
der Lokomotive	27		
der Jagdhunde und Rennpferde .	25		

Für die Leitung der Erregung im Nerven ist es die unerläßliche Bedingung, daß zwischen dem erregten Punkte des Nerven und dem Organ, in welchem der Erfolg der Nervenreizung zu Tage treten soll, der Nerv überall vollkommen intakt ist. Jede Verletzung in seinem Verlauf unterbricht die Erregungsleitung. Alle Bedingungen, welche die Intensität der Lebenseigenschaften des Nerven erhöhen oder herabsetzen, erhöhen oder vermindern auch die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Nervenerregung. Bei dem lebenden Menschen nimmt z. B. die Erregungsleitung der Nerven durch Wärmeentziehung in den betreffenden Teilen an Geschwindigkeit sehr bedeutend ab, die Werte können um das Doppelte schwanken.

Eine Reihe von Thatsachen, namentlich über den Wirkungserfolg äußerer elektrischer Einwirkung auf Nerv und Muskel, werden wir in der weiteren Folge dieser Betrachtungen noch kennen lernen, teils sind sie bei der Muskelphysiologie schon näher dargestellt worden.

Überblicken wir noch einmal die Gesamtheit der Thatsachen über Nervenelektrizität im Zusammenhalt mit der Frage nach dem Wesen der höchsten Lebenskräfte, der psychischen Erscheinungen, welche an das Vorhandensein der nervösen Substanz und an deren normale Funktionierung geknüpft erscheinen, so müssen wir bekennen, daß, so interessereich alle jene Entdeckungen an sich sind, sie uns doch im wesentlichen keinen Schritt weiter gebracht haben der Lösung des höchsten Problems der menschlichen Physiologie entgegen. In dieser Beziehung ist der durch die Entdeckung des Gesetzes der Nervenelektrizität gebrachte Nutzen lediglich ein negativer, sie hat uns bewiesen, daß der alte Gedanke, in der Elektrizität das Geheimnis des Lebens und des Geistes suchen zu dürfen, ein vollkommen irriger war.

Chemie des Nervensystems.

Das Leben ist an eine höchst einfache elementare Stoffmischung geknüpft. Die gleichen Elementarstoffe, welche die Hauptmasse des Bodens, auf welchem wir leben, welche Wasser und Luft um uns her zusammensetzen, bauen auch unseren Körper auf mit allen seinen Organen; davon macht auch das Nervensystem keine Ausnahme. Auch die organisch-chemischen Stoffverbindungen, welche wir im Nervensystem auftreten sehen, sind die gleichen, welche wir aus der chemischen Untersuchung des allgemeinen tierischen Lebensstoffes, des animalen Protoplasma, schon kennen. Wenn die quantitative Stoffmischung auch eine charakteristische sein mag, was namentlich für die chemischen Bestandteile der Nervenfasern, weniger für jene der Nervenzellen nachgewiesen ist, so scheint es doch, daß kein neuer, dem einfachsten animalen Protoplasma fremder Stoff im chemischen Bau des Nervensystems auftritt.

Anatomisch haben wir im Nervensystem, abgesehen von einer funktionell dem Bindegewebe der anderen Körperorgane an die Seite zu stellenden, die nervösen mikroskopischen Elementarformen zusammenhaltenden und derselben die Blutgefäße zuleitenden Grundsubstanz, Neuroglia, nach den oben gegebenen morphologischen Darstellungen dreierlei zu unterscheiden: die Nervenzellen oder Ganglienzellen, die markhaltigen und die marklosen Nervenfasern. Zu den (willkürlichen) Skeletmuskeln und allen quergestreiften Muskelfasern sowie zu den Sinnesorganen gehen vom nervösen Zentralorgan markhaltige Nervenfasern, zu den glatten (unwillkürlichen) Muskelfasern dagegen nur marklose Nervenfasern. Diese morphologischen Elementarbestandteile sind es, deren chemische Zusammensetzung wir zunächst zu erforschen haben, sowie die Veränderungen, welche die letztere im Lebensprozeß, bei Arbeit und Ruhe, in Leben und Tod erleidet.

Da wir annehmen, daß die beiden Nervenfasergattungen, die marklosen und die markhaltigen, nichts anderes sind als Ausläufer von Ganglienzellen, mit anderen Worten Teile der

Ganglienzellen selbst, so liegt die Vermutung von vornherein nahe, daß ein absolut durchgreifender chemischer Unterschied zwischen Nervenzellen und Nervenfasern nicht existieren könne. Nach den besten neuesten Untersuchungen ergibt sich denn auch, daß die sich thatsächlich zeigenden charakteristischen chemischen Verschiedenheiten zwischen Nervenzellensubstanz und Nervenfasersubstanz sich lediglich im Gebiete quantitativer Differenzen bewegen. Nach den Untersuchungen Petrowskys, welche unter der Leitung eines der ausgezeichnetsten physiologischen Chemiker Deutschlands, Hoppe-Seyler, ausgeführt und unter dessen wissenschaftlicher Verantwortlichkeit veröffentlicht wurden, stellt sich die chemische Zusammensetzung der grauen Gehirnsubstanz, welche, wie wir wissen, durch ihre Nervenzellen ausgezeichnet ist, zu der Zusammensetzung der lediglich Nervenfasern, keine Nervenzellen enthaltenden weißen Gehirnsubstanz, beide vom Gehirn des Rindes genommen, beide im wasserfreien, getrockneten Zustande untersucht, folgendermaßen:

Chemische Bestandteile	Graue Hirnsubstanz	Weiße Hirnsubstanz
Eiweißstoffe und leimgebende Stoffe	55,37 Proz.	24,725 Proz.
Lecithin	17,24 "	9,904 "
Cholesterin	18,68 "	51,905 "
Cerebrin	0,53 "	9,547 "
In wasserfreiem Äther unlösliche Substanz	6,71 "	3,342 "
Aschenbestandteile (0,2677 Proz. des frischen Gehirns)	1,45 "	0,572 "

Lecithin und Cerebrin sind vielleicht als Spaltungsprodukte eines erst infolge des Absterbens und der unvermeidlichen Einwirkungen bei der chemischen Untersuchung zerfallenden, in den lebenden nervösen Gebilden aber vereinigten, hoch zusammengesetzten, von Liebreich entdeckten organisch-chemischen Stoffes, des Protagons, welches als ein wesentlicher Bestandteil in allem lebenden animalen Protoplasma auftritt und sich durch einen reichlichen Gehalt an Phosphor auszeichnet. Andere halten das Protagon nur für ein Gemenge der betreffenden beiden Stoffe.

Außer den genannten Hauptbestandteilen findet sich aber, wie es bis jetzt scheint, nur den Scheiden der markhaltigen Nervenfasern zugehörig, jene oben bei der Besprechung der mikroskopischen Formverhältnisse der nervösen Substanzen schon erwähnte eigenartige Hornsubstanz, das Neurokeratin, und eine Anzahl von Zersetzungsprodukten der genannten primären chemischen Bestandteile, welche wir in allem tierischen Protoplasma gefunden und bei der chemischen Untersuchung des Muskelgewebes speziell hervorgehoben haben, von stickstoffhaltigen: Keratin, Xanthin und Hypoxanthin, Harnsäure und Harnstoff; von stickstofffreien: Fette und deren Seifen, eine Zuckerart (Inosit) und, wie es scheint, normale Milchsäure. Die anorganischen Bestandteile setzen sich aus Salzen der Metalle: Kalium, Natrium und Calcium, verbunden mit Chlor, Kohlensäure, Schwefelsäure und Phosphorsäure zusammen, es sind die uns als Blutsalze, Fleischsalze, überhaupt als Protoplasmasalze geläufigen Verbindungen, auch der Phosphorgehalt des Protagons, respektive des Lecithins, erscheint in Sauerstoffverbindung in der Asche. Die Asche der grauen Gehirnsubstanz des Menschen reagiert stark alkalisch.

Während wir für die feinere chemische Struktur der Ganglienzellen noch fast gänzlich der Aufklärung harren, ist es für die Nervenfasern gelungen, wenigstens einige nähere mikroskopisch-chemische Aufschlüsse zu erhalten. Es kann kaum noch bezweifelt werden, daß der Achsencylinder der Nervenfaser, welche ein direkter Fortsatz, ein Ausläufer des Protoplasma der Nervenzelle ist, der Hauptsache nach aus Eiweißstoffen besteht. Welche weiteren chemischen Bestandteile an seiner Bildung teilnehmen, wissen wir dagegen nicht. Die Hauptmasse des Protagons (Lecithin

und Cerebrin) zeigt sich in der Markscheide der markhaltigen Nerverfasern angehäuft. Doch können wir nach den oben mitgeteilten Analysen nicht daran zweifeln, daß auch im Protoplasma der Nervenzelle neben den Eiweißstoffen, während des ungestörten Lebens wahrscheinlich in einer Art chemischer Vereinigung mit denselben, Protagon (Lecithin und Cerebrin) vorhanden ist.

Man hat die Meinung vertreten, daß die Markscheide der markhaltigen Nerven eine Isolation der im Inneren der Nervenfaser verlaufenden elektrischen Vorgänge auf die einzelne gerade in Thätigkeit befindliche Nervenfaser bedinge. Nach dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens über die kaum verschiedene elektrische Längs- und Querleitung der Nervenfasern, über das zahlreiche Vorkommen markloser, nur aus dem Achsencylinder bestehender Nervenfasern und zwar auch in den nervösen Zentralorganen, Rückenmark und Gehirn, und in den peripherischen Endorganen aller, auch der höchsten Sinnesorgane, Auge, Gehörorgan, welche alle zu ihrer Funktionierung eine auf die einzelne marklose Faser sich erstreckende Fähigkeit der Erregungsleitung voraussetzen lassen, erscheint jener hypothetischen Meinung jeglicher Boden entzogen zu sein.

Über die chemischen Lebensvorgänge in der Nervensubstanz ist bis jetzt nur außerordentlich wenig bekannt. Wie bei allen lebenden Organen, so ist auch sehr ausgesprochen bei den Nerven zu einer Normalerhaltung ihrer chemischen Zusammensetzung ein normaler Fortgang ihrer Lebensthätigkeit, ein regelmäßiger Wechsel von Thätigkeit und Ruhe, notwendig. Der längere Zeit, z. B. durch Zerschneidung, durch Gehirnlähmung und anderes, außer Thätigkeit gesetzte Nerv verändert seine chemische Zusammensetzung und stirbt im lebenden Organismus endlich ab. Es ist dies einer der Beweise dafür, daß die Thätigkeit des Nerven in einem bestimmten Verhältnis zu den in ihm stattfindenden chemischen Stoffvorgängen steht. Wie bei allen Organen, so basiert auch der chemische Stoffwechsel der nervösen Organe auf Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe, mit anderen Worten auf jener das Leben kennzeichnenden „organischen" Verbrennung, Oxydation. In den Haargefäßen des Gehirns wird dem Blute ebenso Sauerstoff entzogen, wird das Blut ebenso mit Kohlensäure beladen, dasselbe im allgemeinen aus dem arteriellen ebenso in den venösen Zustand übergeführt wie in den übrigen Organen. Es scheint übrigens, daß dieser Stoffwechsel im Nervengewebe kein sehr lebhafter sei. Die Zahl und Weite der Haargefäße ist wenigstens in der weißen Gehirnsubstanz und in den Nervensträngen eine vergleichsweise geringe; die Maschen der Haargefäße sind weit, dagegen zeigt die graue Nervensubstanz im Gehirn, Rückenmark und äußeren Nervenknoten ein wenn auch sehr feines, doch recht dichtes Netzwerk. Dies beweist, daß in den Ganglienzellen, welche ja in der grauen Nervensubstanz enthalten sind, ein größeres Sauerstoff- und Blutbedürfnis existiert als in den Nervenfasern. Froschnerven bleiben sogar für mehrere Stunden funktionsfähig in einem vollkommen sauerstofffreien Raume, während die Ganglienzellen, wenigstens der warmblütigen Tiere, bei mangelndem Sauerstoff so gut wie momentan absterben.

Bei dem Absterben des normal neutral oder höchstens schwach alkalisch reagierenden Nervenprotoplasma sowie unter der Einwirkung einer aufreibenden Thätigkeit tritt, wie bei dem Muskelprotoplasma, eine saure Reaktion des Nervenprotoplasma auf. Das gilt, wie für die graue Nervensubstanz, die Nervenzellen, auch für die weiße, die Nervenfasern. Der Nachweis dieser Reaktionsumänderung läßt sich sehr deutlich führen, wenn vor dem vollen Absterben alles stark alkalisch reagierende Blut aus der Nervensubstanz entfernt, ausgewaschen wurde. Die graue Substanz des Gehirns zeigt sich dann von neutraler Reaktion; bei dem Absterben bei normaler Körpertemperatur, noch rascher bei einer Erhöhung derselben um etwa 10° C., entwickelt sich dann schnell eine saure Reaktion; bei den Nervenfasern entwickelt sich letztere namentlich im Achsencylinder.

Dieser Nachweis des Auftretens einer sauren Reaktion in der Nervensubstanz ist für unser Verständnis der nervösen Lebensvorgänge in derselben von Wichtigkeit. Wir konnten

erweisen, daß unter der Einwirkung einer auch nur höchst schwachen Säure die Nervensubstanz rasch objektiv ermüdet. Die objektive Nervenermüdung zeigt sich, wie die objektive Ermüdung des Muskels, zunächst in einer vorübergehenden Erhöhung der Nervenerregbarkeit mit schließlicher Abnahme der gesamten Leistungsfähigkeit der ermüdeten Nerven. Die in der Nervensubstanz bei ihrem normalen Stoffwechsel, in gesteigertem Grade aber bei angestrengter Thätigkeit sich entwickelnde Kohlensäure und die hierbei auftretende Säure im Nervenprotoplasma haben wir daher als ermüdende Substanzen des Nerven zu betrachten. Die Ursache der objektiven Nervenermüdung ist, wie die der objektiven Muskelermüdung, eine gemischte. Die sich im Nerven bei gesteigerter Thätigkeit oder bei mangelnder Blutzufuhr anhäufenden Zersetzungsprodukte des eigentlichen Protoplasma wirken auf den Nerven ermüdend. Die Ermüdung verschwindet, wenn die betreffenden Stoffe durch eine infolge der Arbeitsleistung in den nervösen Organen ebenso wie in allen übrigen Organen unseres Körpers gesteigerte Blutzufuhr teils ausgewaschen, teils, wie die fixe Säure, durch das alkalische Blut nur wieder neutralisiert und dadurch unschädlich gemacht sind. Wir können daher die Erscheinungen der nervösen Ermüdung — auch jene des Gehirns durch angestrengte geistige Thätigkeit, welche sich, wie gesagt, nicht nur in Unlust zu körperlichen Bewegungen, sondern auch unter den Erscheinungen der namentlich bei dem weiblichen Geschlecht bekannten „reizbaren Schwäche" äußert — durch Anregung der Gesamtblutzirkulation, deren Steigerung dann auch dem Gehirn zu gute kommt, heben. In diesem Sinne wirkt gesteigerte Muskelthätigkeit: Fußwandern, Bergsteigen, Tanzen, Turnen, auch für das geistige Wohlbefinden in hohem Maße günstig.

Das Auftreten der Säure im Protoplasma der thätigen Nervensubstanz gibt uns noch einen weiteren wichtigen Fingerzeig. Vielfältige Erfahrungen haben uns gelehrt, daß Säuren, welche direkt mit dem Nervenprotoplasma in Berührung kommen, den Nerv in starken Erregungszustand versetzen. Das Gleiche gilt für den Muskel. Wenn wir nun sehen, daß bei der physiologischen Thätigkeit sowohl des Nerven als des Muskels in dem Protoplasma beider eine freie Säure auftritt, so können wir doch gewiß vermuten, daß der direkte Grund der Erregung des Muskels wie des Nerven ebendiese Säure ist. Wir dürfen uns dabei denken, daß eine elektrolytische Zersetzung, eine Zersetzung gewisser Protoplasmastoffe durch den elektrischen Strom der betreffenden Gewebe, diese „reizende" Säure frei macht. Es ist bekannt, in wie hohem Grade erregend auf Muskel und Nerven ein von außen auf sie einwirkender elektrischer Einfluß, z. B. von seiten einer Elektrisiermaschine oder einer galvanischen Batterie, wirkt. Diese elektrischen Einwirkungen bringen momentan elektrolytische Zersetzungen mit Anhäufung von Säure (und Alkali) am Nerven und Muskel hervor, so daß wir daran denken können, daß auch der Grund der äußeren elektrischen Reizung in dem Auftreten der Säure beruhen dürfte. Leiten wir einen konstanten elektrischen Strom durch den Nerven, so bringt das auf der Oberfläche des letzteren eine elektrolytische Zersetzung hervor; in dem Augenblick, in welchem wir den Strom öffnen und dadurch der bis dahin an der Oberfläche der bindegewebigen Scheide des Nerven angesammelten Säure den Eintritt in die eigentliche Nervensubstanz gestatten, sehen wir eine Erregung des Nerven eintreten. Solange der äußere galvanische Strom im Nerven geschlossen bleibt, bringt er dagegen nur gewisse Veränderungen, an dem einen Pole Erhöhung, an dem anderen Verminderung der Erregbarkeit, und damit zusammenhängend Änderungen in der elektrischen Stromentwickelung des Nerven hervor, ein Komplex wunderbarer Erscheinungen, welche wir seit den bezüglichen Untersuchungen du Bois-Reymonds und Pflügers als Elektrotonus zusammenfassen. Alle diese Erscheinungen können aber auch durch wechselweise Einwirkung von Säure und Alkali (Säure-Alkalikette), welche der äußere galvanische Strom aus dem Nervensaft ebenfalls abscheidet, hervorgerufen werden. So sehen wir die Lebenseigenschaften des Nerven wesentlich durch sein

chemisches Verhalten beeinflußt. Aber freilich fehlt noch viel, um alle die wechselnden Nervenstimmungen auf ihre chemischen Ursachen zurückführen zu können.

Wir haben bisher unterlassen, von dem Wassergehalt der nervösen Substanzen zu sprechen, um die darauf bezüglichen wichtigsten Ergebnisse zusammengefaßt darstellen zu können. Es ist schon aus älteren Bestimmungen bekannt, daß der Wassergehalt der grauen nervösen Substanz sehr beträchtlich viel größer ist als jener der weißen Substanz. Der Wassergehalt der grauen Gehirnsubstanz des Erwachsenen beträgt meist etwas weniger als 84 Prozent, der der weißen dagegen nur etwa 68 Prozent. Übrigens ist der Wassergehalt des Gehirns im ganzen und der seiner beiden nervösen Substanzen im einzelnen nach dem Alter des Individuums sehr verschieden. Der neugeborene Mensch hat ein sehr viel wasserreicheres Gehirn als der erwachsene, mit zunehmendem Alter nimmt der Wassergehalt des Gehirns bis zu einem relativen Minimum ab, von da an, namentlich im späteren Alter, wieder etwas zu, so daß in dieser Beziehung das Gehirn sehr alter Leute sich wieder kindlichen Verhältnissen annähert. Eine sehr instruktive Zusammenstellung der von ihm gewonnenen bezüglichen Mittelwerte der Gehirnwasserbestimmung beim Menschen gibt Weisbach, getrennt nach dem Geschlecht.

Alter der Personen	Wassergehalt der grauen Substanz bei Männern	Wassergehalt der grauen Substanz bei Frauen	Wassergehalt der weißen Substanz bei Männern	Wassergehalt der weißen Substanz bei Frauen
20 bis 30 Jahre.	83,36 Proz.	82,62 Proz.	69,56 Proz.	68,26 Proz.
30 = 50 = ...	83,61 =	83,06 =	68,31 =	70,31 =
50 = 70 = ...	83,80 =	83,84 =	70,19 =	68,94 =
70 bis über 90 Jahre . . .	84,78 =	83,95 =	72,61 =	72,20 =
Im Mittel:	83,88 Proz.	83,39 Proz.	70,17 Proz.	69,63 Proz.
	83,63 Proz.		70,05 Proz.	

Der Wassergehalt der großen Nervenstämme des Menschen schwankt zwischen 64 und 72 Prozent.

Die hohe Wichtigkeit des Wassergehaltes der nervösen Zentralorgane, speziell der grauen Nervensubstanz im Gehirn und Rückenmark, tritt uns lebhafter entgegen, wenn wir uns daran erinnern, daß das Blut des Menschen normal weniger Wasser enthält. Der Wassergehalt des Gesamtblutes, des Plasma des Blutes mit den roten und weißen Blutkörperchen, beträgt bei dem Erwachsenen zwischen 78 und 79 Prozent, während wir den Wassergehalt der grauen Gehirnsubstanz soeben zu durchschnittlich 84 Prozent angegeben haben. Obwohl ein „flüssiges Organ", ist sonach das Blut weit „konzentrierter" als die graue Gehirnsubstanz; während das Blut zwischen 21 und 22 Prozent feste, wasserfreie Stoffe enthält, erreicht der Gehalt der grauen Gehirnsubstanz an festen Stoffen im Mittel nur 16 Prozent. Daraus ergibt sich, daß, wenn aus irgend einem physiologischen oder krankhaften Grunde ein lebhafterer Diffusionsvorgang zwischen Blut und grauer Gehirnsubstanz eingeleitet ist, alle leicht diffundierbaren Substanzen, also namentlich alle kristallisierbaren Zersetzungsprodukte der Gewebsstoffe, aus dem Blute in die graue Substanz des Gehirns und Rückenmarks eintreten, während entsprechende Wassermengen dafür austreten müssen. Damit hängt es zusammen, daß die nervösen Zentralorgane nach übermäßigen Körperanstrengungen nachgewiesenermaßen wasserärmer werden; sie geben einen Teil ihres Organwassers an das Blut ab und nehmen dafür namentlich leicht diffundierbare feste Stoffe aus dem Blute auf. So können dann Gewebszersetzungsstoffe im Gehirn und Rückenmark auftreten, welche an irgend einer anderen Stelle im Organismus gebildet und dort zunächst dem Blute übergeben worden sind.

Diese Zersetzungsprodukte der Gewebsstoffe, Harnstoff, Hippursäure, Milchsäure, gallensaure Salze, phosphorsaures Kali, Chlorkalium ꝛc., haben nun aber teils auf das gesamte Nervensystem, teils nur auf ganz beschränkte Gebiete desselben eine sehr lebhafte physiologische Wirkung. Ein Teil der Gewebszersetzungsstoffe, namentlich Zucker, verhält sich zwar so gut wie ganz wirkungslos. Kohlensäure, gallensaure Salze, Kalisalze, alle fixen Säuren und sauren Salze haben dagegen wie auf Muskeln, so auch auf Nervenstämme und auf das gesamte zentrale Nervensystem eine die Leistungsfähigkeit herabsetzende und dieselbe rasch vernichtende Wirkung; bei einigen jener Stoffe geht diesen Herabsetzungen eine kurz dauernde Erhöhung der Erregbarkeit der ihrer Einwirkung ausgesetzten Organe voraus, ein Zustand, den wir oben als den Beginn der objektiven Ermüdung, als „reizbare Schwäche", bezeichnet haben. Eine Reihe anderer aus dem normalen Gewebszerfall hervorgehender Stoffe, namentlich aber Harnstoff und Hippursäure, sind in den relativ geringen Konzentrationen, in welchen sie normal stets nur im Blute auftreten können, für alle Organe und Gewebe unseres Körpers vollkommen unschädlich mit einziger Ausnahme ganz beschränkter Partien grauer Substanz, ganz beschränkter Gruppen von Ganglienzellen im Gehirn. Die Wirkung des Harnstoffes ist eine zunächst erregende und dann rasch lähmende, aber nur auf jene Ganglienzellengruppe, welche der Regulierung der Reflexbewegungen vorsteht, auf das (beim Frosch in der Nähe der Vierhügel gelegene) „Reflexhemmungszentrum" im Gehirn und, wie es scheint, auf einen großen Teil oder die Gesamtheit der Nervenzellen in der „grauen Gehirnrinde". Hippursäure wirkt ganz ähnlich, hat aber noch eine wunderbare Nebenwirkung auf die den Reflexbewegungen im Rückenmark vorstehenden Nervenzellengruppen, welche von Harnstoff in keiner Weise alteriert werden. Die in die graue Substanz des Rückenmarks eindringende Hippursäure hebt die durch eine vorausgegangene Empfindungsreizung, sensible Erregung, in den Ganglienzellen, welche im Rückenmark die Reflexe vermitteln, d. h. in den Reflexapparaten des Rückenmarks, gesetzte Reflexreizung auf, aber ohne die Reflexerregbarkeit selbst merklich herabzusetzen.

Aus unserer hier angedeuteten Reihe von Untersuchungen geht hervor, daß sich der Organismus selbst „Reize" der verschiedensten Art produziert, daß eine Anzahl von Lebenserscheinungen, eine Anzahl von Veränderungen der physiologischen Lebensthätigkeiten, auch der nervösen Zentralorgane auf wechselnden chemischen Veränderungen der chemischen Zusammensetzung des Protoplasma ihrer Zellen beruht. Wir wiederholen es, merkwürdigerweise verhalten sich gewisse Stoffe (z. B. Harnstoff, Hippursäure) in den zur Wirkung kommenden Konzentrationen gegen alle Organe direkt oder primär indifferent mit Ausnahme einer einzigen Zellengruppe im Gehirn (z. B. Reflexhemmungszentrum), von wo aus sie aber ihre Einwirkung auch auf andere Organe (z. B. die peripherischen Reflexmechanismen) entfalten können. Eine chemische Ursache, ein im Organismus befindlicher, irgendwo gebildeter Stoff, welcher aber nur auf ein einziges Organ des Organismus eine lebhaftere und spezifische physiologische Wirkung entfaltet, kann somit die Ursache für Umänderungen der Lebenseigenschaften einer ganzen Reihe anderer Organe, ja des Gesamtorganismus werden. Unter der Einwirkung des Harnstoffes z. B. verschwindet, wie wir sahen, die Reflexerregbarkeit des Organismus rasch, es entwickelt sich endlich eine vollkommene Reflexlähmung, obwohl die primäre Wirkung dieses im gesunden Stoffwechsel stets in relativ so bedeutenden Quantitäten erzeugten Giftes, welches normal rasch durch die Nieren aus dem Körper entfernt wird, sich bei krankhafter Anhäufung primär nur auf jene mehrfach erwähnten Gruppen von Nervenzellen im Gehirn erstreckt. Daß die irgendwo im Organismus erzeugte Kohlensäure, wenn ihre Ausscheidung aus dem Blute durch Störung der Atmungsthätigkeit gehindert ist, ebenfalls auf die Nervenzellen des Gehirns rasch lähmend und tötend wirkt, ist eine längst bekannte Thatsache. Auch die Kohlensäure wirkt auf die Nervenfasern und Nervenstämme nur wenig, während die Nervenzellen ihre ganze tödliche Wirkung erfahren.

Der verschiedene Wassergehalt der beiden Gehirnsubstanzen spricht sich auch in einer verschiedenen spezifischen Schwere derselben aus.

Im allgemeinen ergibt sich aus den bisherigen Mitteilungen, daß die Nerven und die nervösen Zentralorgane unter denselben Einflüssen chemischer Lebensbedingungen stehen wie die übrigen Organe. Ihre normale Funktionsfähigkeit ist zunächst gebunden an eine genügende Aufnahme von Sauerstoff und an Abfuhr und Neutralisation der Zersetzungsprodukte, welche im Lebensprozeß entstehen, durch die Blutzirkulation. Daher sehen wir, daß Störungen der Blutzirkulation das Leben der nervösen Substanzen so rasch beeinträchtigen und vernichten. Selbst kurze Unterbrechungen rufen Funktionsunfähigkeit der Nerven und der nervösen Zentren hervor. Auch sehr niedrige Temperaturen, dann die in der modernen Medizin eine so große Rolle spielenden schmerzstillenden Mittel, die Anästhetika (Chloroform, Äther 2c.), bedingen, in das Blut gelangt, eine mehr oder weniger beträchtliche Herabsetzung der Nerventhätigkeiten. Nach Aufhören der Zirkulation und Atmung sterben zunächst die nervösen Zentralorgane, dann die den letzteren zunächst gelegenen Nerven, erst etwas später die entfernteren Nervenverzweigungen ab. Übrigens spricht, wie oben schon angedeutet, wohl nichts für einen sehr lebhaften Stoffwechsel in den beiden Nervensubstanzen; eine Erhöhung der Temperatur des Nerven infolge seiner Thätigkeit, wie eine solche die Thätigkeit der Muskeln und Drüsen zweifellos begleitet, wurde zwar behauptet, ist aber noch keineswegs mit Sicherheit erwiesen. Immerhin ist, wie gesagt, der größere Gefäßreichtum der grauen Substanz uns ein Beweis dafür, daß in der letzteren die chemischen Umsetzungen lebhafter verlaufen als in der weißen Substanz. Daß im Grunde die chemischen Prozesse in allen Zellen, in Muskel-, Drüsen-, Nervenzellen, qualitativ identisch sind, haben wir schon mehrfach hervorgehoben.

Die geistigen Funktionen und das Nervensystem.

Dürfen wir diese Betrachtungen verlassen, ohne einen Blick auf die Frage zu werfen, in welcher Weise wir uns den Zusammenhang der geistigen Funktionen des Nervensystems mit den chemisch-physiologischen Vorgängen in diesem verknüpft denken dürfen?

Die unklaren Vorstellungen, welche von der Naturphilosophie aus dem Mittelalter, ja aus dem griechischen Altertum in unser Jahrhundert über das Wesen und die möglichen Wirkungen von Stoffen und Kräften herübergenommen waren, hatten, wie wir sahen, einerseits zu der so lange zäh festgehaltenen Meinung geführt, daß die Nerven- oder Lebenskraft im wesentlichen Elektrizität sei. Anderseits war die unseren jetzigen Anschauungen nach noch unverständlichere Ansicht vertreten worden, das „Leben" mit allen seinen physisch-psychischen Äußerungen sei Wirkung eines besonderen chemischen Elementarstoffes, und zwar des Phosphors. Derartige relativ moderne, jetzt aber schon wieder scheinbar vollkommen unerklärliche Verirrungen der naturphilosophischen Spekulation gehen, wie gesagt, auf uralte vorwissenschaftliche Philosopheme zurück und erlangen im Hinblick auf diese eine gewisse Verständlichkeit. Wenn alte Philosophen gelehrt haben, daß der „Äther" nicht nur Stoff der nach der Meinung des Volkes mit göttlichem Leben ausgestatteten Himmelskörper, sondern auch Ursache ihrer Bewegung sei und auch als eigentliches Lebenselement mit der Atmung in die belebten Wesen und den Menschen eintrete, so erscheint die Meinung, daß die Lebensbewegung von einem bestimmten Elementarstoff, wie Phosphor, hervorgebracht werde, als ärmlicher, mißverstandener Überrest einer Idee, die in ihrer ursprünglichen Gestalt einer gewissen Großartigkeit und allgemeinen Wahrheit nicht entbehrt. Die Gleichartigkeit der Himmelskörper in Stoff und Bewegungsursache mit den belebten Wesen ist ja auch für

die moderne exakte Physik des Organismus der grundlegende Satz. Der Phosphor ist für einen im naturwissenschaftlichen Denken Ungeübten durch die erstaunliche Eigenschaft seines Leuchtens im Dunkeln mit einem gewissermaßen mystischen, geisterhaften Nimbus umgeben, nur der letztere kann es einigermaßen verständlich machen, daß man gerade auf diesen Elementarstoff die weittragendsten Hoffnungen setzte. War es doch ein ähnlicher mystischer Nimbus, mit welchem man die Wirkungen der elektrischen Gegensätze, der vielgenannten elektrischen Polaritäten, zu umkleiden liebte, welche bis zu den reine Bahn schaffenden Entdeckungen du Bois-Reymonds eine so große Anziehungskraft auf unklare philosophierende Köpfe ausübte. Man hatte den natürlichen Bewegungserscheinungen der Elektrizität, obwohl deren vollen Zusammenhang mit den übrigen Bewegungen der Welt schon Cartesius in seiner formalen Theorie der Bewegungen erkannt hatte, einen geheimnisvollen Mantel umgeworfen und glaubte dann hinter dieser selbstgeschaffenen Hülle alle möglichen hohen Geheimnisse verborgen. In Beziehung auf den Phosphor als Lebens- und Geistesstoff dürfen wir zur Entschuldigung auch nicht vergessen, daß die Aufstellung dieser uns jetzt so kläglich erscheinenden Hypothese noch in die erst seit wenigen Jahrzehnten überwundene Periode der Naturwissenschaft fällt, in welcher man Stoffe von Bewegungen nicht voll zu unterscheiden wußte, in welcher die Bewegungen, die wir Wärme, Licht, Elektrizität nennen, in den Köpfen der Lehrer und Lernenden noch als Stoffe, als unwägbare Materien, figurierten.

Die hervorragendsten Kenner der Natur des Menschen bekennen in ungefärbter Rückhaltlosigkeit, daß unser bisheriges chemisch-physikalisches Wissen nicht ausreicht, uns auch nur ein noch so schematisches Bild zu entwerfen, in welcher Weise durch die uns bekannten Stoffe und Kräfte in der Nervensubstanz, oder sagen wir allgemeiner im Protoplasma, die Lebensbewegungen und noch weniger auch nur die allereinfachsten psychischen Bewegungen zu erklären seien. Niemand unter unseren Zeitgenossen kennt die exakte Fragestellung der Physiologie und gleichzeitig die exakten Resultate der physiologisch-chemischen Forschung besser als Hoppe-Seyler, dessen selbständige Leistungen auf jedem der einschlägigen Gebiete von allen Seiten die vollste Anerkennung erfahren. Und doch fühlt auch dieser berühmte Physiolog und Chemiker, wie vor ihm du Bois-Reymond und andere der größten Meister, sich gedrungen, sein volles Nichtwissen nach dieser Richtung in ungeschminkten Worten darzulegen. Wir versagen uns nicht, die Worte Hoppe-Seylers selbst hier mitzuteilen. Er sagt zum Schlusse seiner meisterhaften Darstellungen der chemisch-physiologischen Verhältnisse des Nervensystems in seiner „Physiologischen Chemie“:

„Den Prozessen der grauen Substanz (des Gehirns) schreibt man auch einen Zusammenhang mit geistiger Thätigkeit, Willensimpuls, Vorstellungen, psychischen Affekten, zu und wohl mit Recht, da, entsprechend den Stufen der Intelligenz, die Entwickelung der grauen Substanz bei Tieren und Menschen in normalen und pathologischen Zuständen gefunden wird. Dennoch darf die (beliebte) Parallele mit den Muskeln, Drüsen u. dgl. nicht so weit geführt werden, daß man die Gedanken und überhaupt die geistige Thätigkeit als eine Art von Sekretion der Ganglien des Gehirns oder wie eine Arbeit der grauen Substanz auffaßt, die sich in Vergleich stellen ließe mit der Hebung von Lasten durch die Kontraktion der Muskeln. Vorläufig fehlt es für jede solche Vergleichung am erforderlichen Maßstabe. Wenn man dahin gelangt sein wird, die geistige Arbeit in Kilogrammmetern auszudrücken oder in Kalorien (Wärmeeinheiten), wird es zuläßig sein, auf jenen Vergleich einzugehen. Am einfachsten würde sich ein solches Äquivalent wohl finden lassen für den Willen. Der Wille ist nicht allein im stande, Arbeit durch Muskelkontraktion zu veranlassen, sondern auch Muskelkontraktion zu verhindern, welche als Reflex sensibler Reizung ohne den dagegen kämpfenden Willen eintreten würde. Die Hemmung des Reflexes durch den Willen muß äquivalent sein der sensibeln Reizung, welche die Kontraktion hervorrufen würde, und im entgegengesetzten Sinne wirkend. Unter der Annahme, daß vom Reize bei seiner Einwirkung auf

den sensibeln Nerven und Fortleitung in den Nervenbahnen bis zum sich kontrahierenden Muskel keine oder ein bestimmbarer Teil der Bewegung verloren ginge oder hinzukäme, würde sich ein Boden gewinnen lassen zur Messung der äquivalenten Willenskraft. Der Wert der letzteren stellt sich schon nach oberflächlicher Schätzung als außerordentlich niedrig heraus. Schon die äußerst geringen Reize, welche die Bewegung der Muskeln zum Niesen oder zu den Reflexbewegungen bei einem Kitzel veranlassen, verlangen eine verhältnismäßig große Willensanstrengung, um den Reflex nicht zu stande kommen zu lassen. Die Messung dieser Reize ist aber selbst bereits eine schwierige Aufgabe. Die Willensenergie ist nachweisbar abhängig von dem Zustande des Organismus, und die gesamte psychische und geistige Thätigkeit wird bedingt durch die von außen (auch vom Darmkanal und, fügen wir hinzu, von der Gesamtheit der inneren Organe) einwirkende Reizung, sie sinkt im Schlafe auf ein Minimum herab. Als eine unlösbare Dissonanz geht die Vergleichung von Muskelarbeit und Gehirnarbeit durch die Reden und Schriften moderner Sozialisten. Die Muskelkraft des Menschen, ausgedrückt in Steinkohle, die bei ihrer Verbrennung die äquivalenten Kalorien liefert, hat einen ganz geringen Wert. Auch beim ungebildetsten Arbeiter wird fast ausnahmslos der Aufwand an geistiger Thätigkeit, nicht der an körperlicher Leistung bezahlt, und doch läßt sich an der Willensaktion nachweisen, daß die durch den Willen veranlaßte Bewegung selbst gegen die der Muskelaktion eine verschwindend geringe ist. Hoppe-Seyler fährt dann wörtlich fort:

„Offenbar ganz unklare Vorstellungen haben zu der Inangriffnahme der Aufgabe geführt, ob und welche Änderungen der Gesamtstoffwechsel bei geistiger Arbeit gegenüber geistiger Ruhe erleidet. Da man die Gedanken nicht suspendieren kann, wird es bei allen diesen Untersuchungen in Wirklichkeit ein anderer Gegensatz sein, den man untersucht hat. Bei der geistigen Arbeit werden viele Reize von außen eingewirkt haben auf Geist und Gemüt, bei sogenannter geistiger Ruhe wird man unbewußt diese Reize möglichst ausgeschlossen haben. Man hat sonach im besten Falle die Wirkung der von außen kommenden (nie näher spezifizierten) Reize in ihrer Gesamtwirkung auf den Stoffwechsel gemessen, nicht eine wirklich vom Gehirn ausgehende Thätigkeit, über die unser Wille direkt gar keine Macht besitzt, die vielmehr das Produkt der einwirkenden Reize und des gerade vorhandenen Zustandes vom Gehirn allein sein könnte, aber überhaupt eine heraustretende nur insoweit sein kann, als durch sie Muskeln, Drüsen ꝛc. mittels der Nerven in Thätigkeit versetzt werden können. Alles dieses betrifft mehr den Gemütsaffekt und Willen; für berechnende Überlegung, Nachdenken (d. h. ‚Denken‘) dagegen ist ein Zusammenhang mit physikalischen Bewegungen, wie mir scheint, gar nicht aufzufinden. Es ist unter diesen Verhältnissen nicht wunderbar, daß die Stoffwechseluntersuchungen bei sogenannter geistiger Arbeit und Ruhe keine bestimmten Resultate ergeben haben; vor genügender Klarstellung der Fragen und Aufgaben sind solche Untersuchungen überhaupt bedeutungsloses Herumtappen im Finstern.

„Die sehr geringe Änderung, welche das Gehirn während der Inanition (der vollen Nahrungsenthaltung) in Gewicht und Zusammensetzung erleidet, spricht sehr entschieden gegen das Vorhandensein eines reichlichen Stoffwechsels in demselben. Keine Erscheinung nötigt zur Annahme einer lebhaften physikalischen Kraftproduktion in dem Gehirn und Rückenmark, nur Regulation, Leitung sind die nachweisbaren Funktionen der Zentralapparate wie des gesamten Nervensystems.“

Wie skeptisch ein echter moderner Naturforscher und Naturkenner allen den soeben angeregten Fragen gegenübersteht, ergibt sich auch aus einer anderen Stelle bei Hoppe-Seyler, an welcher er über die Ganglienzellen oder Nervenzellen sagt, daß „von ihren Funktionen während des Lebens wohl nichts weiter bekannt ist, als daß wahrscheinlich durch sie der Zusammenhang sensibler

und motorischer Nerven hergestellt ist". Wie viele und mit welcher Dreistigkeit gemachte Angaben über das psychische Leben der Nervenzellen fallen damit in ihr Nichts zurück.

Wir haben durch die vorhergehenden Darlegungen über Mikroskopie, Physik und Chemie des Nervensystems zunächst für die Besprechung dieser höchsten Probleme reinen Tisch zu machen versucht, wir haben vieles als übereilt zurückweisen müssen. Aber welch große, wertvolle Fülle wahren Wissens bleibt, wenn wir die sicher gestellten Resultate der Forschung durchmustern; welch ergreifendes Interesse bietet es uns dar, wenn wir den exakten Forscher in dem Laboratorium belauschen bei seinen Bestrebungen, die höchsten wissenschaftlichen Probleme nicht im Sprunge zu erhaschen, sondern im ruhigen, gemessenen Vorschreiten und oftmals prüfenden Rückmessen des schon zurückgelegten Weges zur wahren Lösung zu bringen.

---

13. Der Bau des Gehirns und des Rückenmarks.

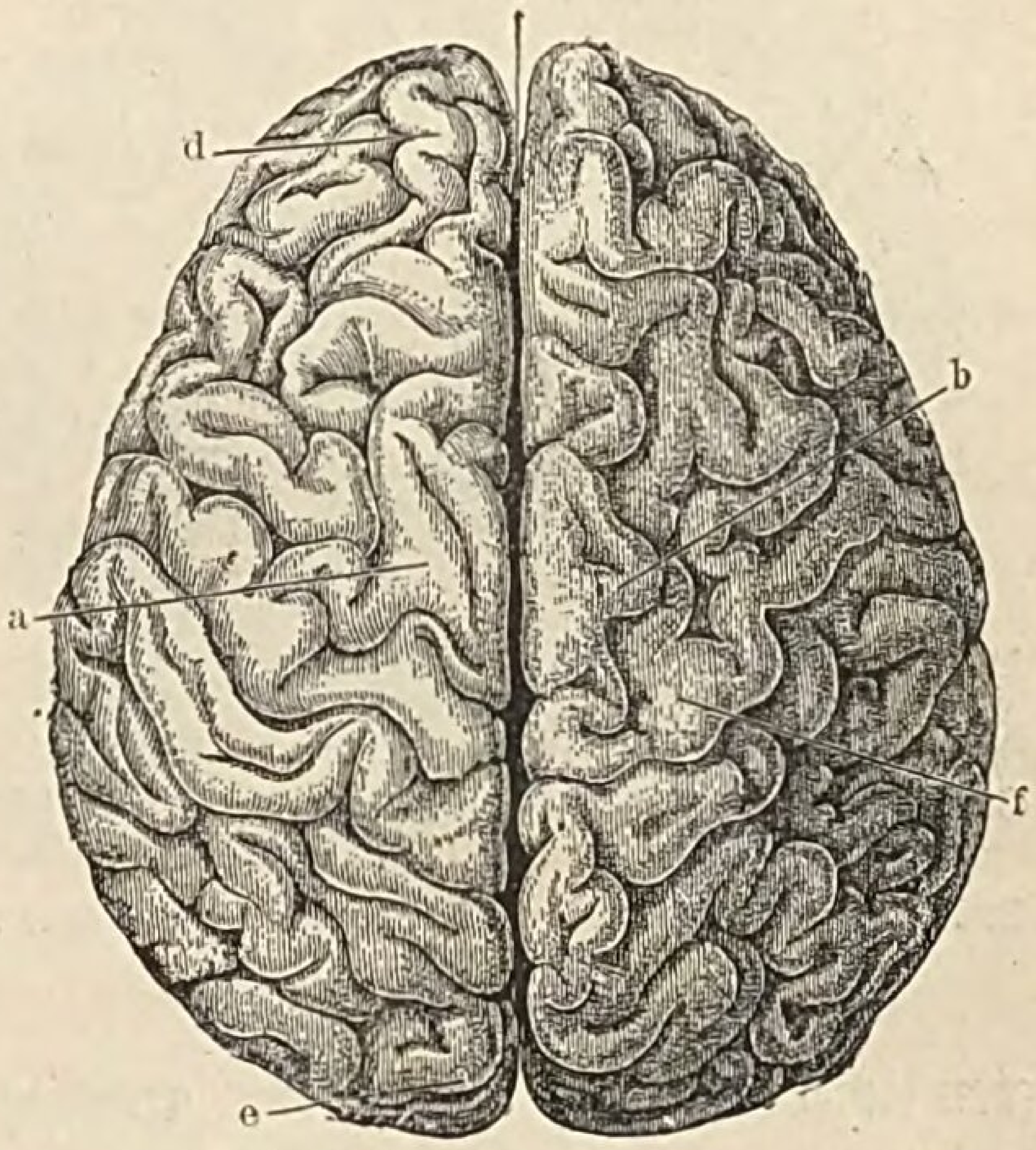
Inhalt: Allgemeine Formbeschreibung. — Die häutigen Hüllen des Gehirns und des Rückenmarks. — Das große Gehirn. — Das kleine Gehirn. — Das Rückenmark. — Windungen und Furchen der Großhirnoberfläche des Menschen. — Die Lokalisation der Gehirnfunktionen. — Die Reflexe. — Faserverlauf im Gehirn und Rückenmark. — Menschen- und Tiergehirn. — Mikrokephalie. — Lokalisation in der grauen Großhirnrinde. — Gewicht und Größe des Gehirns.

Allgemeine Formbeschreibung.

Rückenmark und Gehirn, die Zentralorgane des animalen Nervensystems, bilden sich bei der Entwickelung unseres Organismus aus einer gemeinschaftlichen röhrenförmigen Anlage. Auch nach der vollen Ausbildung erscheint das Rückenmark als eine sehr dickwandige Röhre mit feinstem, in der Längsrichtung verlaufendem Zentralkanal, und die primär hohle Anlage des Gehirns spricht sich auch dann noch in den relativ weiten Hirnhöhlen im Zentrum des Gehirns aus. Ebenso bleibt der ununterbrochene Zusammenhang von Gehirn und Rückenmark bestehen, so daß sie beide zusammen als ein einheitlich zusammengehörendes Organ, das animale Zentralnervenorgan, und in Verbindung mit ihren Nerven als das Zentralnervensystem angesprochen werden müssen. Das Gehirn stellt die im ganzen annähernd halbkugelförmige Hauptmasse des Zentralnervensystems dar, an welchem als eine strangförmige Verlängerung das Rückenmark ansitzt. Denken wir uns Gehirn und Rückenmark in ihrem Zusammenhang von den übrigen Organen des Körpers getrennt und erhärtet, so bilden sie einen ausgesprochen keulenförmigen Körper. Den langen, gerundeten, am Ende zugespitzt endigenden Stiel oder Handgriff dieser Keule bildet das Rückenmark, den schweren, kugeligen, unten unregelmäßig abgeflachten Kopf der Keule bildet das Gehirn. Sowohl Gehirn als Rückenmark sind im großen und ganzen symmetrisch gebaut, wir können beide durch einen in der Mittellinie von vorn nach hinten geführten Schnitt, welcher, durch unseren ganzen Körper geführt, letzteren in zwei symmetrische Hälften trennen würde, ebenfalls in zwei symmetrische Abschnitte zerlegen.

Das Gehirn, als ein Ganzes betrachtet (vgl. die Tafel „Das Gehirn des Menschen"), wird durch eine von hinten her tief einschneidende Querfurche in einen vorderen und oberen, weit größeren Abschnitt: das große Gehirn, und in einen hinteren und unteren, weit kleineren Abschnitt: das kleine Gehirn, geteilt. Beide, das große und das kleine Gehirn, stehen durch eine mittlere Gehirnpartie miteinander in Verbindung. Das Kleinhirn des Menschen zeigt sich

bei einem Anblick des ganzen Gehirns von oben von dem hinteren Abschnitt, d. h. den Hinterlappen des Großhirns, meist vollkommen gedeckt, es schlüpft gleichsam unter die Hinterlappen, so daß von oben nur das in dieser Ansicht halbkugelig gerundete Großhirn zur Beobachtung kommt. Eine tiefe, in der Mittellinie verlaufende Spalte, die große Mittelspalte, von vorn nach hinten in die Tiefe des Großhirns einschneidend, trennt dieses in zwei seitliche, durch Mittelpartien (Balken, Brücke ꝛc.) unter sich und mit dem Kleinhirn zusammenhängende Hälften, die beiden Großhirnhemisphären (s. untenstehende Abbildung) oder Halbkugeln des Großhirns. Dieser Name stammt aus einer älteren Periode der Anatomie, er berücksichtigt nicht, daß das ganze Gehirn keine Kugel, sondern, wie gesagt, eigentlich selbst nur eine Halbkugel darstellt. Auch an dem Kleinhirn ist namentlich durch eine von unten eindringende, ebenfalls von vorn nach hinten verlaufende relativ breite Eintiefung, in welche sich der in der Schädelhöhle liegende Anfangsteil des Rückenmarks, das verlängerte Mark, eindrängt, und durch einen entsprechenden Einbug des Hinterrandes die Trennung in zwei seitliche Hälften, in die beiden Hemisphären oder Halbkugeln des Kleinhirns, etwas unvollkommen angedeutet.

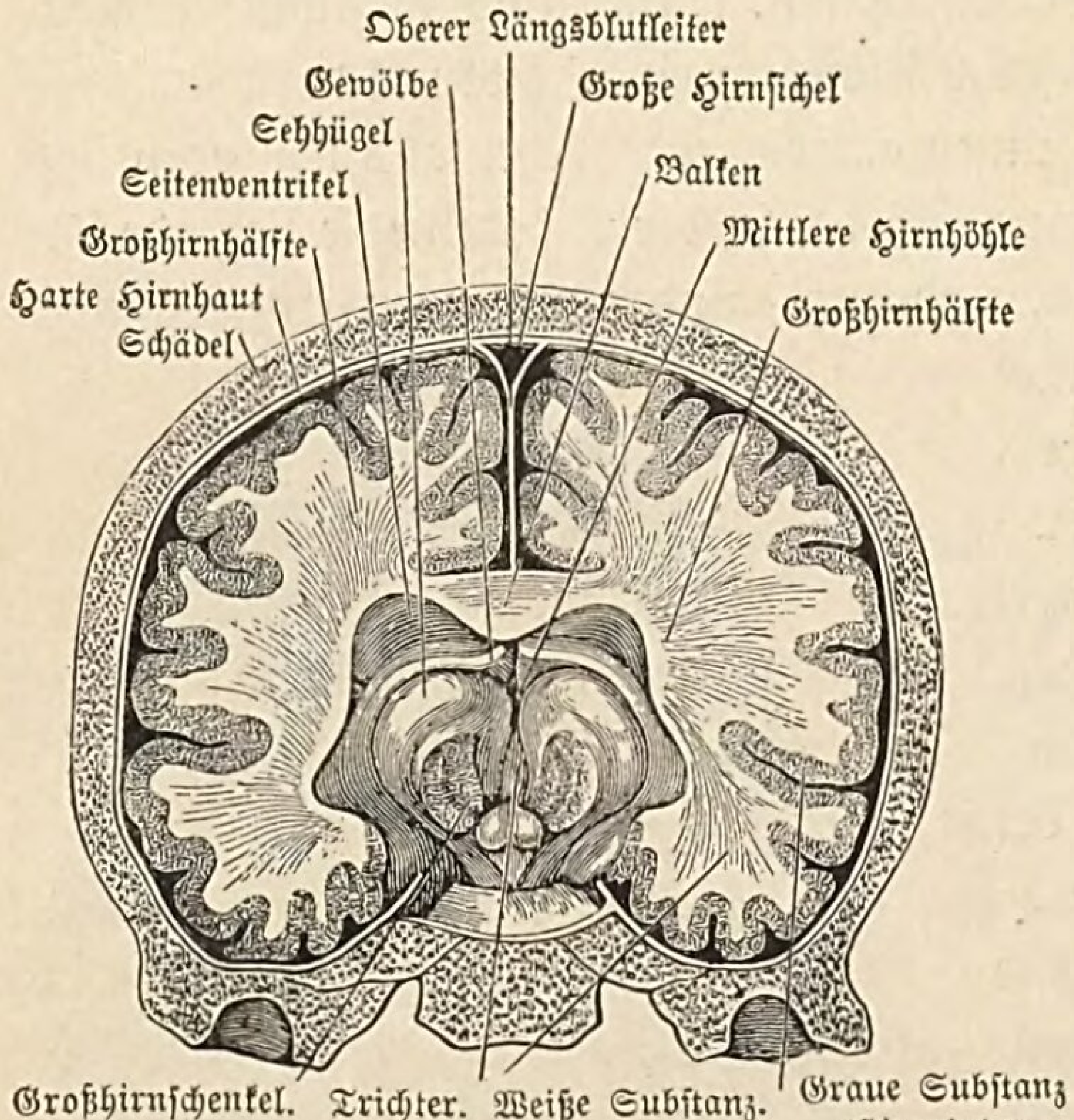


Das große Gehirn, von oben gesehen.
a) Linke Großhirnhälfte, b) rechte Großhirnhälfte, c) Längsspalte, d) vorderer Lappen, e) hinterer Lappen, f) Mittellappen.

An den Halbkugeln des kleinen Gehirns unterscheiden wir eine obere und eine untere konvex gerundete Oberfläche, welche durch einen abgerundeten Rand ineinander übergehen; dagegen treten uns an jeder der Halbkugeln des großen Gehirns deutlich drei die Oberfläche begrenzende Flächen entgegen. Die eben erwähnte große Mittelspalte, welche die beiden Großhirnhemisphären zum beträchtlichen Teil voneinander trennt, schneidet in dem vorderen Abschnitt eine Strecke weit das Gehirn vollkommen durch; auch die Hinterlappen der Halbkugeln des Großhirns, welche das Kleinhirn decken, sind durch die Mittelspalte ganz voneinander geschieden, nur ein mittlerer Teil des Großhirns (Balken ꝛc.) verbindet, wie gesagt, beide Großhirnhemisphären untereinander und mit dem Kleinhirn. Abgesehen von diesem den Zusammenhang vermittelnden Abschnitt zeigen daher die Großhirnhemisphären, entsprechend der Halbkugelgestalt des Gesamthirns, drei freie Flächen, eine mehr flache untere, der inneren Schädelbasis anliegende, eine seitlich konvex gewölbte, den Seitenteilen des Gehirnschädels entsprechende und eine der großen Mittelspalte des Gehirns zugekehrte, fast vollkommen flache innere Fläche. Diese beiden inneren Flächen der Großhirnhemisphären würden sich sonach berühren, wenn sich nicht bei der normalen Lage des Gehirns im Schädel eine sichelförmige Fortsetzung der Hirnhäute (die große Hirnsichel) zwischen sie einschieben würde. Der mittlere Gehirnabschnitt, welcher die Großhirnhemisphären verbindet und nach unten die tief trennende Mittelspalte direkt begrenzt und abschließt, heißt Balken des Gehirns. Er liegt mit den sich ihm seitlich anschließenden Teilen wie ein Dach über den drei im Inneren des Gehirns befindlichen Höhlungen, den Gehirnhöhlen, und zwar über der mittleren Gehirnhöhle, deren eigentliche Decke von dem durch den Querschlitz des großen Gehirns hereingelangenden „Adergeflecht“ (Tela choroidea superior) gebildet wird.

Alle Flächen der Hemisphären des Groß- und Kleinhirns des Menschen sind nicht glatt und eben, sondern mit wulstartig hervorspringenden, dicht nebeneinander hinziehenden Erhabenheiten besetzt, welche in Form und Anordnung zwischen Groß- und Kleinhirn sehr charakteristische

Verschiedenheiten erkennen lassen. Während diese wulstartigen Erhabenheiten, welche als Windungen (Gyri) bezeichnet werden, an der Oberfläche des Großhirns relativ breit und in vielfach verschlungenen Windungen und Zügen auftreten, verlaufen die Windungen der Kleinhirnoberfläche ziemlich regelmäßig parallel und bogenförmig von der einen Kleinhirnoberfläche über das Verbindungsstück beider zur anderen. Die nebeneinander nachbarlich herziehenden Windungen werden durch spaltförmige, am Großhirn tief einschneidende Furchen (Sulci) voneinander getrennt. Wir werden Gelegenheit finden, die hohe physiologisch-psychologische Bedeutung der Furchen und Windungen der Gehirnoberfläche eingehender darzulegen.



Das Gehirn in der Schädelkapsel, von rechts nach links senkrecht durchschnitten.

Die feinere Untersuchung des Gehirns und Rückenmarks ergibt jenen schon vielfach erwähnten Unterschied zwischen einer grauen (Nervenzellen enthaltenden) und einer weißen (aus Nervenfasern bestehenden) nervösen Substanz des Gehirns und Rückenmarks (s. nebenstehende Abbildung). Diese graue Substanz bildet eine relativ dicke, den Zentralkanal des Rückenmarks in seinem ganzen Verlauf umlagernde Schicht; auch in der Umgebung der Hirnhöhlen des Gehirns zeigen sich entsprechende Anhäufungen grauer nervöser Substanz, das „Höhlengrau". Die Hauptansammlung grauer Substanz bedeckt aber das Gehirn fast auf seiner ganzen Oberfläche. Die graue Substanz überzieht die Hauptabschnitte der Gehirnoberfläche als eine ziemlich dicke, gleichmäßige Rindenschicht, als „graue Gehirnrinde". Nur auf der Unterfläche des Gehirns mangelt einigen Mittelpartien die graue Rinde (s. Tafel „Das Gehirn des Menschen"). Die Oberfläche des Rückenmarks besteht aus weißer nervöser Substanz, „Marksubstanz".

Die häutigen Hüllen des Gehirns und Rückenmarks.

Nicht nur von den festgeschlossenen, an sich festen knöchernen Hüllen, Gehirnkapsel und Rückgratskanal, werden Gehirn und Rückenmark geschützt, sondern innerhalb der starren Knochenhüllen sind sie noch teils zu weiterem Schutze, teils zu Ernährungszwecken von drei Häuten umgeben, welche drei von außen nach innen aufeinander folgende Hüllschichten um Gehirn und Rückenmark bilden. Direkt unter der Innenfläche der Knochenhöhle für Gehirn und Rückenmark, ersterer dicht anliegend und mit ihr durch Blutgefäße und häutige Fortsätze verbunden, findet sich eine feste, sehnenähnliche, weiße Haut, die harte Hirnhaut (Dura mater, s. obenstehende Abbildung). Sie bildet einen um Gehirn und Rückenmark geschlossenen Sack, dringt in alle Öffnungen der Knochenkapsel ein, durch welche Nerven und Blutgefäße in die Schädelhöhle herein- und aus dieser heraustreten, scheidenartige Hüllschichten um dieselben bildend. Die innere Oberfläche der harten Hirnhaut ist glatt und glänzend. An einzelnen Stellen spaltet sich die harte Hirnhaut auf gewisse Strecken in zwei Blätter; die dadurch entstehenden röhrenartigen Spalten werden Blutleiter genannt, da sich in ihnen das Venenblut des Gehirns vor seinem Austritt aus der Schädelhöhle sammelt. Die Trennung des Gehirns in Großhirn und Kleinhirn, die

Trennung des Großhirns in seine beiden Hemisphären wird in gewissem Sinn von der harten Hirnhaut vorgebildet, indem sie in die Sagittalspalte zwischen den beiden Hemisphären des Groß- und Kleinhirns und in die Querspalte zwischen Groß- und Kleinhirn flächenhafte häutige Fortsätze einsendet. Indem diese Fortsätze der harten Hirnhaut in die Schädelhöhle frei vorspringen, trennen sie dieselbe in vier unvollkommen geschiedene, ungleich große Kammern. In den beiden größeren oberen Kammern liegen die Hemisphären des Großhirns, in den beiden kleineren unteren Kammern die Hemisphären des Kleinhirns.

Der von dem Hahnenkamm des Siebbeines bis zur Mitte des Hinterrandes des großen Hinterhauptsloches in der Mittellinie verlaufende Fortsatz der harten Hirnhaut wird als Hirnsichel, der quer verlaufende, von der queren Mittellinie der Innenfläche der Schuppe des Hinterhauptsbeines ausgehende wird als Hirnzelt bezeichnet. Hirnsichel und Hirnzelt kreuzen sich also in ihrem Verlauf. Der über dem Hirnzelt liegende, zwischen die beiden Hemisphären des Großhirns sich einschiebende größere Abschnitt der Hirnsichel, welche diesen Namen von ihrer ausgesprochen sichelförmigen Gestalt mit unterem konkaven Rand erhält, heißt große Hirnsichel, der untere Abschnitt, welcher dem mittleren Einschnitt im Hinderrand des Kleinhirns entspricht, heißt kleine Hirnsichel. Wo die Kreuzungsstelle der Hirnsichel und des Hirnzeltes der Innenwand des Hinterhauptsbeines anliegt, befindet sich an letzterer der innere Hinterhauptsvorsprung, dessen kreuzförmige, rinnenförmig ausgetiefte Schenkel wir bei der Besprechung der Innenfläche der Gehirnkapsel beschrieben haben. Wo die Hirnsichel und das Hirnzelt von dem die Außenfläche des Gehirns umkleidenden Sack der harten Hirnhaut nach einwärts vorspringen, zeigen sich solche oben beschriebene, Venenblut führende Spaltungsräume, Blutleiter. Wie die Hirnsichel und das Hirnzelt selbst, kreuzen sich also an dem inneren Hinterhauptsvorsprung auch ihre Blutleiter, und die rinnenförmigen Eintiefungen der kreuzförmigen Knochenerhebung entsprechen dem Verlauf dieser Blutleiter. Auch an den freien Rändern der Fortsätze der harten Hirnhaut laufen Blutleiter hin. Das Hirnzelt hat seinen Namen daher, daß es ein zeltartiges Dach über das Kleinhirn wölbt, welches dasselbe gleichsam vor dem Druck der auf der äußeren oberen Fläche des Hirnzeltes ruhenden Hinterlappen des Großhirns schützt. Das Hirnzelt oder das Zelt des kleinen Gehirns ist mit seinen beiden seitlichen Rändern an die obere Kante der beiden Pyramiden der Schläfenbeine befestigt; hinter der Lehne des Türkensattels öffnet sich wie ein gotisches Thor mit nach hinten und oben gerichteter Spitze der Eingang in das Hirnzelt, in dem die mittleren, vom Querspalt, welcher Großhirn und Kleinhirn trennt, nicht durchschnittenen Partien des Gehirns (die Brücke mit den darüberliegenden Vierhügeln 2c.) liegen. An den Ansatzrändern des Zeltes finden sich, wie an den freien Rändern der großen und kleinen Hirnsichel, ebenfalls Blutleiter.

Nach unserer obigen Darstellung umhüllt die harte Hirnhaut sackartig wie das Gehirn, so auch das Rückenmark. Die harte Hirnhaut geht als ein geschlossener, in der Höhe des zweiten oder dritten Kreuzbeinwirbels endender Blindsack aus der Schädelhöhle in die Rückgratshöhle über, eine lose, scheidenartige Umhüllung um das Rückenmark bildend. Letzteres endet bei dem Erwachsenen in der Höhe des ersten oder zweiten Lendenwirbels, erreicht sonach das Ende des Rückgratskanales nicht. Die harte Haut liegt der Innenwand des Rückgratskanales nicht dicht wie der Schädelinnenwand an, da dieser für seine Knochen schon eine eigene innere Beinhaut besitzt, während für die Schädelkapsel die harte Hirnhaut auch die Rolle der inneren Ernährungshaut des Knochens, die Beinhaut, zu versehen hat. Zwischen der äußeren Fläche des Rückenmarksabschnittes der harten Hirnhaut und der Innenfläche des knöchernen Rückgratskanales bleibt ein Zwischenraum, welcher durch starke Venengeflechte eingenommen ist. Am Halse und in der Lendengegend, wo die Beweglichkeit der Wirbelsäule eine größere ist, ist der Sack der harten Haut im Rückgratskanal weiter als im Brustteil. Wie alle vom Gehirn abtretenden und die Schädelhöhle

verlassenden Nerven von der harten Hirnhaut eine sie durch die Öffnung im Schädelgewölbe begleitende Scheide erhalten, so bekommen solche Scheiden auch die aus dem Rückgratskanal austretenden Rückenmarksnerven. Die innere Oberfläche der harten Rückenmarkshaut setzt sich mit dem innersten Hautüberzug der Rückenmarksäule, der Gefäßhaut, welche hier je eine der Länge nach verlaufende Falte bildet, durch 20—30 meist zwischen je zwei Nervenwurzeln von außen nach innen verlaufende dreieckige Zacken in Verbindung, welche ihre Spitzen nach außen, ihre breiteren, mit der Gefäßhaut des Rückenmarks verschmelzenden Querlinien diesem zuwenden. Sie halten in ihrer Gesamtheit als „gezahntes Band" das Rückenmark schwebend in seiner Lage.

Unter der harten Hirnhaut, als zweite häutige Hülle des Gehirns und Rückenmarks, breitet sich eine äußerst zarte, die gröberen Unebenheiten der Gehirnoberfläche flach überbrückende Haut, die Spinnwebenhaut (Arachnoidea), aus. Der Spaltraum zwischen der Innenfläche der harten Hirnhaut und der Außenfläche der Spinnwebenhaut wird durch eine geringe Menge einer wasserreichen, „serösen", Flüssigkeit schlüpfrig erhalten.

Während die eben genannte Gehirnhaut die Gehirnoberfläche und ihre Erhabenheiten und Vertiefungen nur oberflächlich überspannt, umhüllt die dritte und innerste Hirnhaut, die Gefäßhaut des Gehirns oder die Pia mater, nicht nur die Gehirnoberfläche vollkommen dicht, in jede Spalte und Vertiefung der letzteren sich einschiebend, sondern gelangt durch den Querschlitz des großen Gehirns in die mittlere Gehirnkammer als Adergeflecht (Tela choroidea superior), von welchem seitliche Verlängerungen (Plexus choroidei laterales) in die seitlichen Gehirnkammern abgehen. Die Haut ist an sich dünn und halb durchsichtig, enthält aber sehr reichliche, aus dem Gehirn aus- (Venen) und in dasselbe eintretende (Arterien) Blutgefäße. Die in das Gehirn eindringenden Arterien haben ihre gröberen Verzweigungen in der Aderhaut, nur sehr feine Zweige treten in die Gehirnsubstanz direkt ein, auch die im Gehirn selbst befindlichen venösen Gefäße sind nur von sehr feinem Kaliber. Die Aderhaut läßt sich von dem frischen Gehirn der zwischen beiden bestehenden zahlreichen Gefäßverbindungen wegen nur mit einer gewissen Gewalt trennen; noch inniger erscheint ihre Verbindung mit dem Rückenmark. Vom unteren Ende des beim Erwachsenen, wie gesagt, am zweiten oder dritten Lendenwirbel endigenden Rückenmarks setzt sich die Gefäßhaut als „Endfaden" bis zum unteren Ende des den ganzen Rückgratskanal durchsetzenden Blindsackes der harten Rückenmarkshaut fort. Der letztere wird im übrigen von den unteren, wie ein „Pferdeschweif" am Rückenmark ansitzenden Rückenmarksnerven erfüllt, welche ihren Anfangsverlauf im Blindsack der harten Rückenmarkshaut nehmen. Die Gefäßhaut ist mit der Spinnwebenhaut durch ein Netzwerk nur wenig Blutgefäße und Nerven führender häutiger Fortsätze vereinigt. In den von diesem Netzwerk gebildeten Hohlräumen (Subarachnoidealräumen) befindet sich normal eine gewisse Menge seröser Flüssigkeit, die Gehirn-Rückenmarksflüssigkeit (Subarachnoidealflüssigkeit oder Liquor cerebro-spinalis), welche nur etwa 2 Prozent feste, denen der Lymphe und des Blutserums entsprechende Stoffe enthält. Die Menge dieser Flüssigkeit beträgt bei Gesunden im Durchschnitt etwa 60 Kubikzentimeter. Beim „Wasserkopf" ist ihre Quantität in krankhafter Weise sehr beträchtlich vermehrt, auch bei sehr alten Leuten ist ihre Menge oft beträchtlicher als bei Personen mittleren Alters. Die Räume, in denen sich diese Flüssigkeit am Gehirn und Rückenmark befindet, hängen nicht nur unter sich, sondern auch mit den Gehirnhöhlen, welche dieselbe Flüssigkeit enthalten, zusammen.

An den inneren oberen Rändern der Großhirnhemisphären finden sich auf der Spinnwebenhaut, dieser und der Gefäßhaut gemeinschaftlich zugehörend, kleine, meist gelblichgraue, körnige Erhabenheiten, welche nach ihrem Entdecker den Namen Pacchionische Körner oder Pacchionische Granulationen tragen. Sie sind in manchen Fällen stärker entwickelt, durchbohren dann die über ihnen ausgebreitete harte Hirnhaut an den beiden Seiten der großen Hirnsichel und bilden

auch an der inneren Fläche der Schädelknochen, namentlich an den oberen und inneren sich in der Pfeilnaht vereinigenden Rändern der Seitenwandbeine mehr oder weniger tiefe, grubenartige Vertiefungen, welche den Knochen bis auf die äußere Glastafel durchsetzen können. Sie stehen, wie es scheint, in näherer Beziehung zu den Venen und Lymphgefäßen der Hirnhäute. Man hat sie bei Personen, welche viel an Kopfschmerz gelitten, auch bei Säufern, besonders stark entwickelt gefunden. Hier und da an der Aderhaut, vorzüglich aber um die Zirbeldrüse des Gehirns finden sich in meist sehr geringer Menge kleine, sandähnliche Körnchen, der Gehirnsand, eingelagert. Es sind konzentrisch geschichtete Körperchen, aus Kalksalzen und phosphorsaurer Ammoniakmagnesia bestehend.

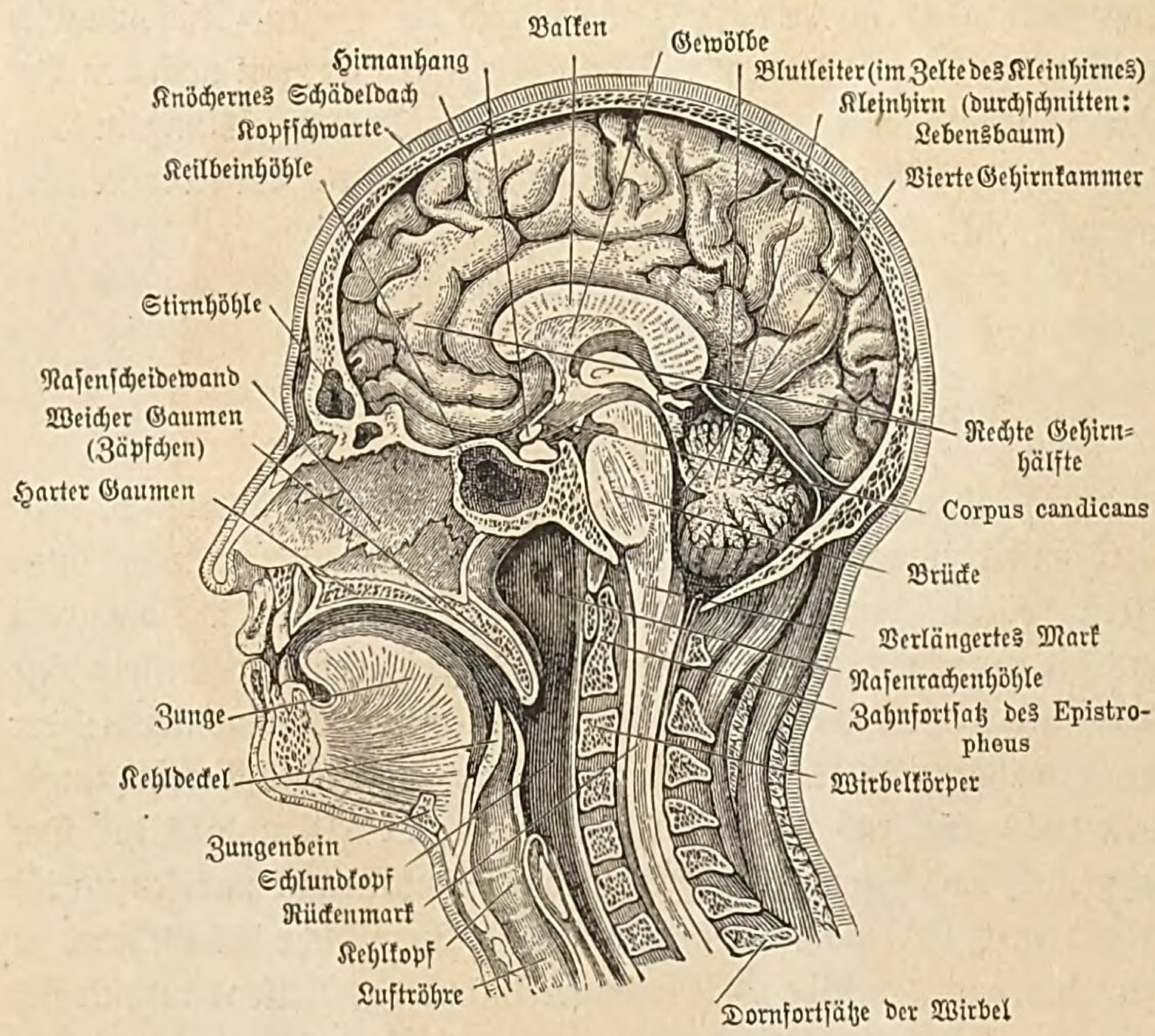
Das Gehirn füllt mit den Gehirnhäuten, den Blutgefäßen und der Gehirn-Rückenmarksflüssigkeit die Schädelhöhle vollkommen aus. Die letztere Flüssigkeit zeigt im Leben nach den Beobachtungen älterer und neuerer Forscher eine geringe auf- und absteigende Strömung in Verbindung mit den Atembewegungen. Als Abflußwege scheinen teils die Austrittsstellen der Nerven, teils die Pacchionischen Körner zu dienen.

Das große Gehirn.

Bei dem Anblick des von den Hirnhäuten befreiten großen Gehirns (s. Abbildung, S. 513) von oben fesselt unsere Aufmerksamkeit zunächst die uns schon bekannte tiefe, von vorn nach hinten ziehende Mittelspalte, in welche sich bei der normalen Lage des Gehirns im Schädel die große Hirnsichel der harten Hirnhaut bis auf eine gewisse Strecke trennend einschiebt. Ziehen wir diese Spalte sorgfältig auseinander, so erkennen wir in ihrer Tiefe den queren Verbindungsteil der beiden Hemisphären, den oben erwähnten Balken, welcher die obere Schicht des Vereinigungsstückes der beiden Hemisphären des Großhirns bildet (s. Abbildungen, S. 514 und 518). Der vordere Rand des Balkens biegt sich, was besonders auf Längsdurchschnitten gut zu erkennen ist, in einem als Balkenknie bezeichneten Winkel nach abwärts gegen die Unterfläche des Gehirns zu dem „grauen Kolben" (Tuber cinereum) derselben. Der hintere Rand des Balkens verdickt sich zum Balkenwulst.

Unter dem Balkenwulst führt eine Öffnung, der Querschlitz des großen Gehirns, in den inneren, durch die drei untereinander kommunizierenden Gehirnkammern oder Gehirnhöhlen gebildeten Hohlraum des Großhirns, den Überrest jener relativ ausgedehnteren blasenartigen Hohlräume, an welche wir uns aus der Bildungsgeschichte des nervösen Zentralorgans erinnern. Den unteren Rand des Querschlitzes bildet ein gewölbter Höcker, durch einen Kreuzschnitt in vier hügelige Abteilungen, die Vierhügel, getrennt. Vor dem vorderen, etwas größeren und etwas höher stehenden Paar der Vierhügel liegen noch zwei höckerförmige Erhabenheiten, die Kniehöcker. Auf dem vorderen Hügelpaar, gleichsam den Eingang durch den Querschlitz in die Gehirnhöhlen verschließend, liegt die vorwiegend aus grauer Gehirnsubstanz bestehende Zirbel. Sie gleicht, wie ihr Name andeutet, einem mit der Spitze nach hinten gewendeten Tannenzapfen. Der ältere Name, Zirbeldrüse, ist ungeeignet, da sie keineswegs eine Drüse, sondern ein nervöses, an ein Sinnesorgan (etwa vom Bau eines Wirbellosen-Auges) erinnerndes Organ ist. Die Zirbel hängt nicht direkt mit den Vierhügeln, sondern durch weiche Faserbündel mit der „hinteren Kommissur" zusammen. An der Zirbel vorbei und diese umhüllend, gelangt, wie gesagt, ein Teil der Aderhaut (Tela choroidea superior) durch den Querschlitz des großen Gehirns in die Hirnhöhlen hinein. Man unterscheidet eine mittlere und zwei seitliche Hirnhöhlen, die mittleren Teile aller drei liegen in der Längsrichtung des Gehirns nebeneinander, die mittlere Hirnhöhle, wie

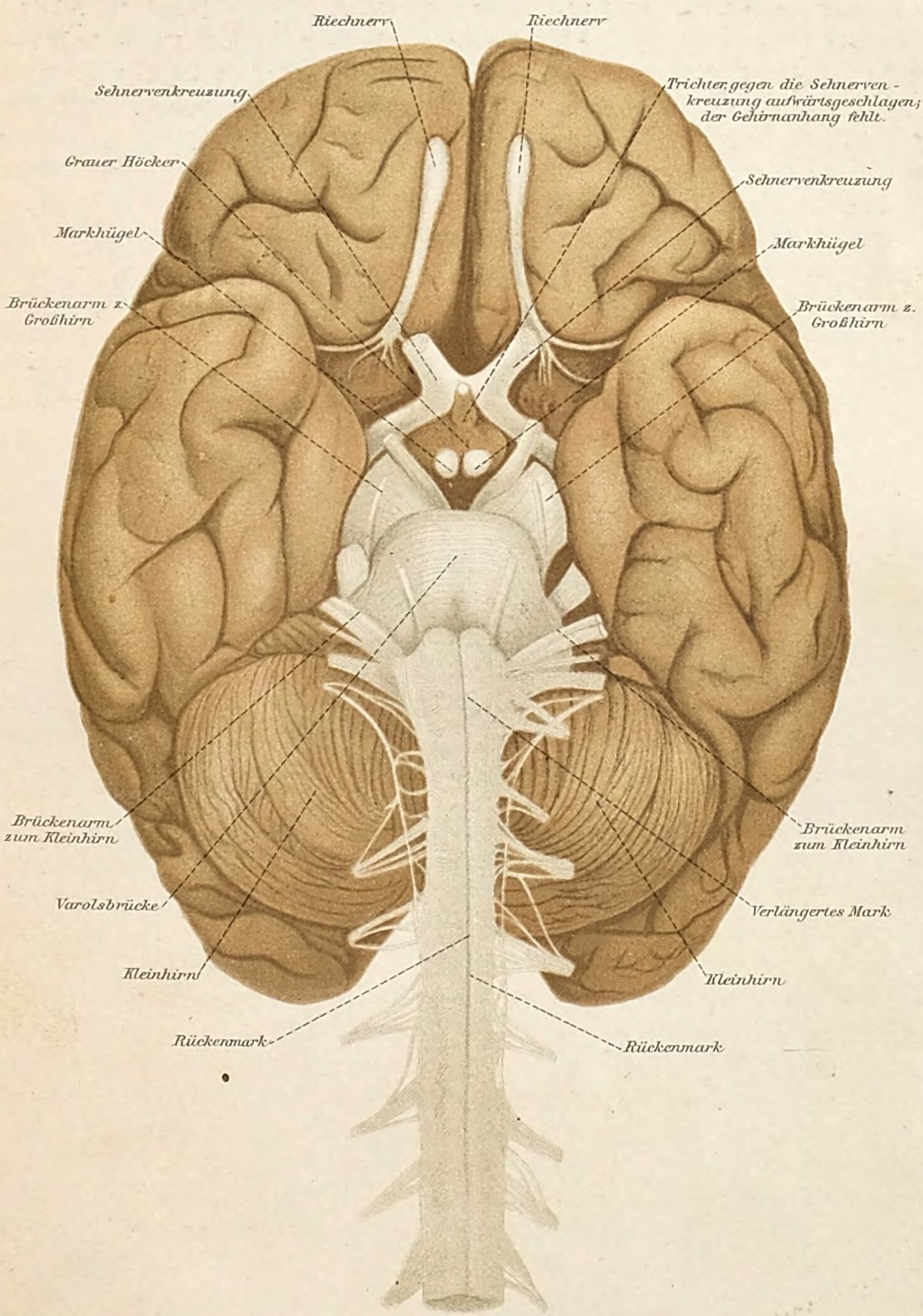
gesagt, unter dem Balken, die seitlichen da, wo die Seitenränder des Balkens in die Hemisphären des Großhirns übergehen, sonach gedeckt von dem größten Teil der Wölbung der Hemisphären. Jede der beiden Seitenkammern sendet von ihrem mittleren Abschnitt drei bogenförmig gekrümmte, in verschiedener Richtung in die Hirnsubstanz eindringende hohle Ausbuchtungen, Fortsetzungen ihres mittleren Hohlraumes, aus, welche ihrer gekrümmten Gestalt wegen als *Hörner* bezeichnet werden (s. Abbildung, S. 519). Das Vorderhorn wendet seine Konkavität nach außen, das Hinterhorn nach innen und das lange Unterhorn nach vorn bis gegen die Unterfläche des Gehirns. In dem vorderen gekrümmten Abschnitt jeder Seitenkammer zeichnen sich vor allem zwei relativ mächtige hügelartige Erhebungen, die großen *Gehirnganglien*, der *Streifenhügel* und *Sehhügel*, aus. Der Streifenhügel zeigt eine etwa birnförmige Oberfläche, das dickere Ende nach vorn und innen gewendet. Er besteht vorwiegend aus grauer Substanz, welche seine Oberfläche ganz bedeckt, und im Inneren aus weißer Substanz, die abwechselnde, im allgemeinen horizontal verlaufende Schichten bildet, welche ihm seinen Namen gegeben haben.



Kopf und Hals, in der Mitte von vorn nach hinten durchschnitten. Vgl. Text, S. 517 u. 522.

Die Anhäufungen grauer, Nervenzellen enthaltender Gehirnsubstanz im Inneren des Gehirns werden uns für die Lebensthätigkeiten desselben von größter Bedeutung werden. Wir müssen daher ihnen schon hier unsere Aufmerksamkeit widmen. An der äußeren Seite des Streifenhügels, aber nicht frei in der Seitenkammer, sondern in der weißen Substanz der Hemisphären ganz verborgen, liegt etwas schief nach außen und abwärts ebenfalls eine linsenförmige Anhäufung grauer Nervensubstanz, der *Linsenkern*, und vor und unter ihm, auch vollkommen von weißer Masse umhüllt, ein kleineres Lager grauer Substanz, der *Mandelkern*; nach außen vom Linsenkern steht fast senkrecht eine Schicht grauer Substanz, die *Vormauer*. Diese graue Substanz in und um die Gehirnhöhlen bildet einen Teil jenes oben schon erwähnten, für das Verständnis der Thätigkeit des Gehirns so überaus wichtigen *Höhlengrau*. Hinter dem Streifenhügel, stark in die mittlere Gehirnhöhle sich vordrängend, liegt der zwar oberflächlich weiße *Sehhügel*, welcher aber in seinem Inneren ebenfalls drei aus grauer Substanz bestehende Kerne enthält. Zwischen den beiden Hügeln läuft der halbkreisförmige *Saum* oder *Hornstreifen*.

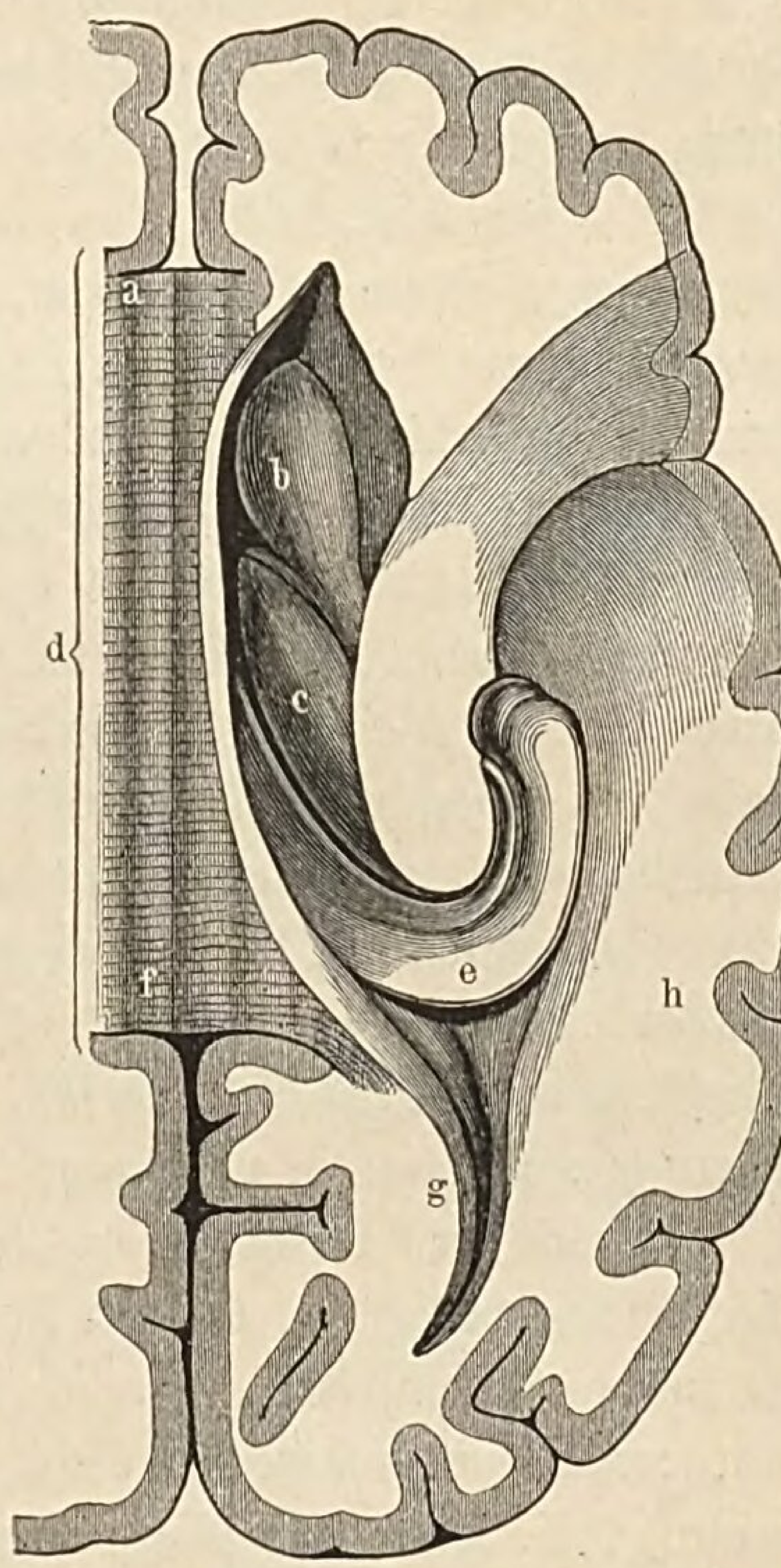
Im Hinterhorn springt an der inneren Wand als eine gebogene, meist mit mehreren Wülsten besetzte Erhabenheit der Vogelsporn oder kleine Seepferdefuß hervor; an der äußeren Seite des letzteren läuft die „seitliche Erhabenheit“. Der große Seepferdefuß oder das *Ammonshorn* läuft als eine wie ein Widderhorn nach außen, vorn und unten gekrümmte Erhabenheit im Unterhorn.



DAS GEHIRN DES MENSCHEN
(Unterseite).

An dem konkaven Rande des Ammonshornes verläuft der dünne, sichelförmig gekrümmte „Saum“, eine Fortsetzung des „Gewölbes“ der Mittelkammer, und unter dem Saume die 12- bis 28zackige „gezahnte Leiste“. Die zarten Scheidewände, welche beide Seitenkammern von der Mittelkammer trennen, besitzen Öffnungen, durch welche die Seitenkammern in die Mittelkammer sich öffnen.

Die Mittelkammer oder unpaarige Gehirnhöhle wird vom Balken und unter diesem von dem „Gewölbe“ bedeckt. Die durchsichtige, aus zwei ziemlich dicht nebeneinander liegenden parallelen Blättern bestehende senkrechte Scheidewand (Septum pellucidum) nimmt den einspringenden Winkel des Balkenkniees ein. Das Gewölbe schiebt sich von obenher in die Furche zwischen den beiden Sehhügeln, welche sich selbst so tief von beiden Seitenkammern her in die Mittelkammer eindrängen, daß sie sich beide fast direkt aneinander legen. Vorn und hinten geht das Gewölbe je in zwei Schenkel oder Säulen über, von denen die vorderen sich scharf abwärts gegen die Unterfläche des Gehirns (zu den beiden Markhügeln) krümmen.



Rechter Seitenventrikel des Gehirns mit Vorder-, Hinter- und Unterhorn, von obenher gesehen. a) Balkenknie, b) Streifenhügel, c) Sehhügel, d) Balken, e) Ammonshorn, f) Balkenwulst, g) Hinterhorn, h) Schläfenlappen. Vgl. Text, S. 518.

Unter dem Balken und dem Gewölbe, die eigentliche Decke der mittleren Gehirnkammer bildend, liegt zunächst das mittlere, mit der Aderhaut des Gehirns zusammenhängende Adergeflecht (Tela choroidea superior), welches sich durch die seitlichen Öffnungen der Innenwände der Seitenkammern auch in diese begibt. Die mittlere Hirnkammer erscheint selbst fast nur als eine Spalte zwischen den beiden nahezu aneinander anliegenden Sehhügeln, von denen aus sie sich nach vorn und hinten etwas erweitert; hinten begrenzen die Vierhügel die Mittelkammer. Vorn stehen die beiden Seitenwände der mittleren Hirnkammer durch markweiße Züge nervöser Substanz, die vorderen Querstränge, die vordere Kommissur, in Verbindung, hinten, vor den Vierhügeln, ziehen die Querstreifen der hinteren Kommissur. Unter der letzteren befindet sich eine feine Öffnung, der Eingang zu einem unter den Vierhügeln hinziehenden engen Kanal, der Sylvischen Wasserleitung, welcher die mittlere Hirnkammer mit der zwischen der Unterfläche der Mittelpartie des Kleinhirns und der Oberfläche des verlängerten Marks, des Anfangsteiles des Rückenmarks, liegenden vierten Hinterhöhle in direkte Verbindung setzt. Wie ein Bogengewölbe ist von einem Sehhügel zum anderen quer durch die Mittelkammer die oben erwähnte mittlere, aus grauer Substanz bestehende Kommissur gespannt.

Wenden wir nun unsere Aufmerksamkeit der **Unterfläche des Gehirns**, der Basis desselben, zu (s. die beigeheftete Tafel „Das Gehirn des Menschen“). Während, von obenher gesehen, das kleine Gehirn unter den Hinterlappen des großen Gehirns verschwindet, sehen wir an der Basis des Gehirns nur einen Teil, wenn auch den größten, der Unterfläche des großen Gehirns frei liegend; seine Hinterlappen sind durch das kleine Gehirn gedeckt, dessen Unterfläche den hinteren Abschnitt der Unterflächenansicht des Gehirns einnimmt. Zwischen Großhirn und Kleinhirn wölbt sich brückenbogenartig das Verbindungsstück zwischen diesen beiden Hauptgehirnabschnitten, die **Brücke**, **Varolsbrücke** oder Gehirnknoten, hervor, gemeiniglich zum Kleinhirn gerechnet. Die Brücke verbindet sich durch zwei von ihr aus nach vorn und außen auseinander

weichende abgeflacht-cylindrische Verbindungsstücke mit den Großhirnhemisphären, es sind das die Brückenarme zum großen Gehirn, auch als Schenkel des großen Gehirns oder Gehirnstiele bezeichnet. Jeder dieser Gehirnschenkel besteht aus einem unteren breiteren, aber dünneren und einem oberen stärkeren Bündel von längsgerichteten Nervenfasern, also aus weißer Substanz, zwischen welche eine Schicht tiefdunkler, grauer Substanz, die schwarze Substanz (Substantia nigra), eingelagert ist. Die weiße Schicht unter der schwarzen Substanz wird als Hirnschenkelfuß, die obere mit der grauen, resp. schwarzen Substanz als Haube bezeichnet; eine Markanhäufung, die „Schleife", geht vom oberen Teile der Varolsbrücke zu den Vierhügeln. Die obere Fläche der Varolsbrücke nehmen nämlich die beschriebenen Vierhügel ein, die Durchbohrung der Sylvischen Wasserleitung führt durch die Varolsbrücke hindurch, über die Wasserleitung verlaufen von beiden Seiten her die Fasern der „Schleife" und verschmelzen sich miteinander. Zwei ähnliche Brückenarme wie zum Großhirn verlaufen von der Varolsbrücke auch, nach hinten zu auseinander weichend, zum Kleinhirn, die Brückenarme zum Kleinhirn, so daß sonach die Varolsbrücke mit zwei „Armen" mit dem Großhirn und mit zwei „Armen" mit dem Kleinhirn in Verbindung steht und auf diese Weise Klein- und Großhirn miteinander verknüpft. Nach rückwärts geht von der Hinterfläche der Varolsbrücke zwischen den beiden Brückenarmen zum Kleinhirn das nach hinten etwas konisch zulaufende verlängerte Mark, der Anfangsteil des Rückenmarks, ab, welches sich in die Furche oder das „Thal" zwischen die beiden Unterflächen der Halbkugeln des Kleinhirns, ohne diese Furche nach obenhin ganz auszufüllen, eindrückt. Das Kleinhirn unterscheidet sich durch seine schmäleren, im allgemeinen parallel und quer verlaufenden Windungen auf den ersten Blick von dem Großhirn. Die Varolsbrücke besteht äußerlich aus weißer Gehirnsubstanz, dagegen ist zwischen den in ihr verlaufenden gekreuzten Quer- und Längsfasern graue Substanz eingelagert. An der von der Varolsbrücke und dem Kleinhirn freigelassenen Unterfläche des großen Gehirns fällt uns zunächst ganz vorn die große die beiden Großhirnhemisphären hier vollkommen voneinander trennende Mittelspalte auf. Seitlich von dieser liegt beiderseits der nach vorn kolbig anschwellende Stamm oder Gehirnteil des Riechnerven (Tractus olfactorius), welcher seine zarten Fasern von hier aus in das Geruchsorgan treten läßt. Der Stamm des Riechnerven geht nach rückwärts in eine dreiseitige graue Erhabenheit, das Riechnervendreieck, mit drei weißen, eingelegten Streifen, die wie Wurzeln des Riechnervenstammes erscheinen, über. Hinter dem Riechnervendreieck folgt die „vordere durchlöcherte Platte", deren Löcherchen durch den Hindurchtritt von feinen Blutgefäßen erzeugt werden. An dem nach rückwärts gewendeten Ende der Mittelspalte, zwischen den vorderen Abschnitten der beiden Großhirnhemisphären, zeigt sich als ein sehr auffälliges Gebilde die Sehnervenkreuzung, das Chiasma (Chiasma nervorum opticorum). Die seitlich aus der Tiefe des Großhirns nach vorn gegeneinander und einwärts verlaufenden starken Stämme der Sehnerven verschmelzen in der Mittellinie der Gehirnunterfläche miteinander und lassen sodann aus diesem kurzen Verbindungsstück die eigentlichen Sehnerven abtreten, welche nun nach außen und vorn voneinander divergieren. Auf diese Weise entsteht eine Art von Kreuz oder eine dem lateinischen X oder dem griechischen X = ch (gesprochen chi) ähnliche Figur. Die Sehnerven sind in unserer Abbildung an ihrer Eintrittsstelle in die Augenhöhlen quer abgeschnitten.

Hinter dem Chiasma in der Mittellinie zwischen den divergierenden Großhirnschenkeln liegt der „graue Höcker", der sich nach unten zu dem zapfenförmigen „Trichter" zuspitzt. Der graue Höcker mit dem Trichter bildet den ziemlich dünnen Boden der mittleren Gehirnkammer, welche sich auch in dem Trichter fortsetzt, so daß dieser seiner Höhlung wegen den Namen erhalten hat. Die Spitze des Trichters ist oben verschlossen; an ihr hängt gleichsam der in seiner Funktion noch ziemlich rätselhafte (in der Abbildung nicht dargestellte) kleine, ovalkugelige Gehirnanhang

(Hypophysis cerebri), welcher in der Höhlung des „Türkensattels“, der uns von der Beschreibung der Innenfläche der Schädelbasis wohlbekannt ist, eingebettet liegt. Nach Ecker hat der Gehirnanhang einige Ähnlichkeit mit der Nebenniere; man hat ihn wohl für eine wahre Drüse erklärt, doch besitzt er zweifellos zahlreiche nervöse Elemente. Hinter dem „grauen Höcker“ erheben sich zwei nahe nebeneinander liegende halbkugelförmige weiße Hügel, die Markhügel (Corpora candicantia), aus grauer Masse bestehend, aber von weißer Substanz gedeckt. Hinter den Markhügeln folgt die „hintere Siebplatte“, welche ihre Durchbohrung ebenfalls (wie die vordere) den durch sie hindurchtretenden Blutgefäßen verdankt. Sie bildet den Boden des hinteren Abschnittes der mittleren Gehirnhöhle.

Wir sind nun bei der Erklärung der Tafel, von vorn nach hinten fortschreitend, wieder an der Varolsbrücke angelangt, von welcher wir, gleichsam als dem Zentrum der Unterfläche des Gehirns, ausgegangen sind.

Das an der Hinterfläche der Varolsbrücke aufsitzende verlängerte Mark (Medulla oblongata) ist, wie gesagt, das noch in der Schädelhöhle befindliche Übergangsstück des Gehirns in das Rückenmark, in welches dasselbe durch das große Hinterhauptsloch des Schädels sich fortsetzt. Die Oberfläche des verlängerten Marks ist weiß, wie die des Rückenmarks, mit dessen Bau das verlängerte Mark auch noch sonst zum Teil übereinstimmt. Es wird durch seichte, schmale Längsfurchen in eine Anzahl paariger „Stränge“ eingeteilt. An dem unteren Umfange des verlängerten Marks, wie ihn unsere Tafel darbietet, folgen von der durch einen tieferen Einschnitt, die „vordere Längsfurche“, gekennzeichneten Mittellinie desselben aus beiderseits nach außen die Pyramiden, dann weiter nach außen die Oliven, dann die strangförmigen Körper, welche seitlich sich in die Hohlkugeln des kleinen Gehirns versenken. Die obere Fläche des verlängerten Marks bildet den Boden der später zu besprechenden „vierten Hirnhöhle“. Durch die vordere Längsfurche ziehen von den Pyramiden gekreuzte Faserbündel von der einen zur anderen Hälfte des verlängerten Marks, die Kommissur. Die Oliven zeichnen sich durch einen in ihrem Inneren befindlichen Kern grauer Nervensubstanz aus.

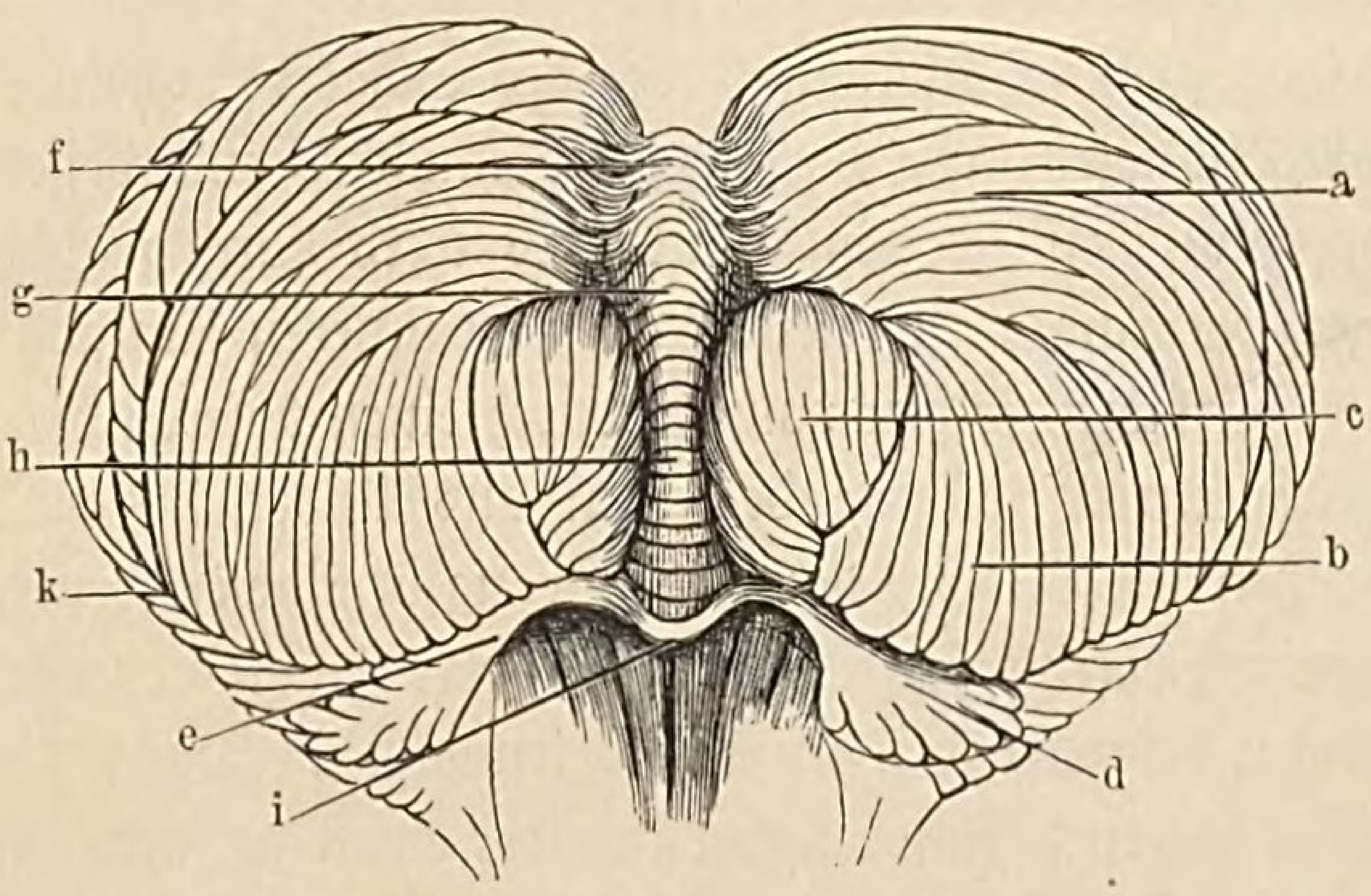
Das kleine Gehirn.

Wir betrachten das vom großen Gehirn, der Varolsbrücke und dem verlängerten Mark getrennte Kleinhirn für sich gesondert (s. Abbildung, S. 522). Seine beiden Hemisphären werden durch ein Mittelstück miteinander vereinigt, welches auf der Unterfläche breit und tief durch das eingelagerte verlängerte Mark eingedrückt erscheint. Diese Längseintiefung wird als das „Thal“ bezeichnet. Es endigt nach hinten in den hinteren Randeinschnitt des kleinen Gehirns, in den Einbug, welcher von hinten her die Hemisphären des Kleinhirns unvollkommen voneinander trennt. An der Vorderseite des Kleinhirns befindet sich ein entsprechender vorderer Einbug. Die obere Fläche des Verbindungsstückes der beiden Kleinhirnhemisphären wölbt sich dagegen, gratartig von vorn nach rückwärts zum hinteren Einschnitt der Hemisphären verlaufend, in die Höhe. Die parallelen schmalen Windungen der Hemisphären ziehen ununterbrochen über diesen gratartig gewölbten Rücken des Verbindungsstückes weg, wodurch letzteres eine gewisse oberflächliche Ähnlichkeit mit dem Rücken einer geringelten Raupe erhält, woher der eigentümliche Name „Wurm“ für das ganze Verbindungsstück der Kleinhirnhemisphären sich erklären mag. Die obere Fläche dieses Verbindungsstückes wird als „Oberwurm“, die untere als „Unterwurm“ benannt.

Bei beiden Kleinhirnhemisphären wird die obere Fläche von der unteren durch eine am äußersten Rande des Kleinhirns horizontal hinlaufende tiefe Furche, die große Horizontalfurche,

geschieden. An der oberen Hemisphärenfläche unterscheidet man, durch eine nach hinten konvexe tiefere Furche voneinander getrennt, den vorderen und hinteren Lappen. Den Oberwurm gliedert man von vorn nach hinten in drei Abteilungen: Zentralläppchen, Berg und Wipfelblatt. An der Unterfläche der Kleinhirnhemisphären (s. untenstehende Abbildung) unterscheidet man je vier Lappen: hinterer Unterlappen, keilförmiger Lappen, Mandel und Flocke, ebenfalls vier am „Unterwurm“: Klappenwulst, Pyramide, Zäpfchen und Knötchen. Jederseits erstrecken sich von den Hemisphären des Kleinhirns zu dem hinteren Paar der Vierhügel die Bindearme des kleinen Gehirns. Sie konvergieren gegen die Vierhügel zu und fassen das vordere Marksegel oder die graue Gehirnklappe, ein dünnes, gräulich durchscheinendes Markblättchen, zwischen sich.

Zwischen der konkav gewölbten Unterfläche des Verbindungsstückes der Kleinhirnhemisphären, welche wir soeben als „Unterwurm“ bezeichnen lernten, und der Oberfläche des verlängerten Marks befindet sich ein Hohlraum, die oben erwähnte vierte Gehirnkammer (s. Abbildung, S. 518), deren Seitenwände und Decke von den Seitenwänden und der Decke des „Thales“, d. h. von der Unterfläche des die beiden Kleinhirnhemisphären verbindenden Mittelstückes, deren Boden von der abgeflachten oberen Fläche des verlängerten Marks gebildet wird. Heben wir die Unterfläche des Kleinhirns von der Oberfläche des verlängerten Marks ab, so blicken wir von hinten her durch den „Querschlitz“ des kleinen Gehirns in die vierte Hirnkammer hinein. Die strangförmigen Körper des verlängerten Marks weichen an dieser Stelle divergierend auseinander, um zum Kleinhirn zu gelangen, und bilden dadurch einen nach hinten spitzen Winkel, welcher die „Schreibfeder“ genannt wird. Dadurch,

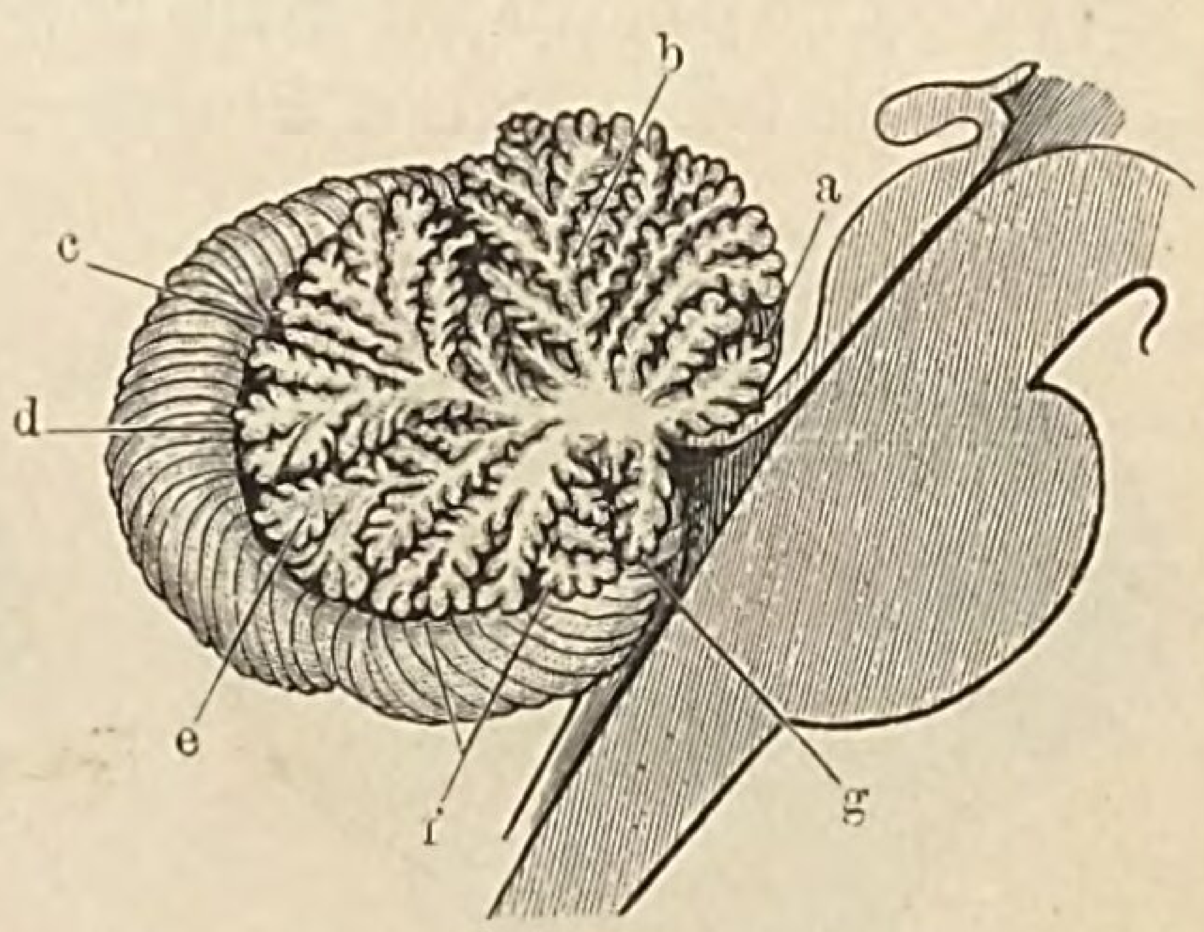


Das kleine Gehirn, von unten.

a) Hinterer Unterlappen, b) keilförmiger Lappen, c) Mandel, d) Flocke, e) Flockenstiel, f) Klappenwulst, g) Pyramide, h) Zäpfchen, i) Knötchen, k) Horizontalfurche.

daß sich an diesen von den strangförmigen Körpern gebildeten, nach hinten sich zuspitzenden Winkel ein zweiter nach vorn sich zuspitzender Winkel, durch die aus dem kleinen Gehirn zum hinteren Vierhügelpaar konvergent aufsteigenden Bindearme gebildet, ansetzt, entsteht eine im ganzen rautenförmige Figur, die Rautengrube, welche den Boden der vierten Gehirnkammer bildet. Der vordere, dem Großhirn zugewendete spitze Winkel der Rautengrube hängt durch die mehrfach erwähnte Sylvische Wasserleitung, die als Fortsetzung des Rückenmarkszentralkanals erscheint, mit der dritten Gehirnkammer direkt zusammen. Der hintere, dem Rückenmark zugewandte Winkel der Rautengrube, die Schreibfeder, öffnet sich in den engen Zentralkanal des Rückenmarks. Die Verhältnisse erscheinen also zunächst derart, als wäre am oberen Ende das dickwandige Rückenmarksrohr (respektive das verlängerte Mark) eine Strecke weit durch einen in der Mittellinie der Länge nach bis in den Zentralkanal geführten Schnitt geöffnet und die Seitenwände winkelig nach den Seiten auseinander gezogen. Diese Vorstellung entspricht insofern dem wahren Sachverhalt, als dem verlängerten Mark (dem Hinterhirn der embryonalen Entwickelung) aus Nervensubstanz bestehende Gewölbteile wirklich fehlen, seine (des Hinterhirns) Höhle klafft somit scheinbar nach oben als Rautengrube. In Wahrheit wird, so wie die mittlere Hirnkammer nach oben zunächst nicht durch Nervensubstanz, sondern durch das obere Adergeflecht begrenzt wird, auch der Raum der vierten Hirnkammer nach hinten nicht durch Nervensubstanz, sondern durch das untere Adergeflecht (Tela chorioidea inferior) als Wand abgeschlossen. Daher tritt das Innere des Gehirn-Rückenmarksrohres

an der Oberfläche der Rautengrube gleichsam frei zu Tage, diese ist daher mit einer von queren weißen Streifen durchsetzten Schicht grauer nervöser Substanz belegt, welche mit der grauen Substanz des Rückenmarks direkt zusammenhängt. Der lange Durchmesser der Rautengrube wird durch eine von dem vorderen zum hinteren spitzen Winkel laufende schmale Furche in zwei seitliche Hälften geteilt, welche bei dem Vergleich des hinteren spitzen Winkels mit einer Schreibfeder den Mittelspalt der Federspitze darstellt und in jene Furche übergeht, welche, der vorderen Längsfurche des verlängerten Marks und Rückenmarks entsprechend, als hintere Längsfurche die seitlich-symmetrische Teilung der gesamten strangförmigen Verlängerung des Zentralnervensystems (verlängertes Mark mit Rückenmark) andeutet. An den stumpfen Seitenwinkeln der Rautengrube buchtet sich die vierte Hirnkammer, welche ein eigenes Adergeflecht erhält, in die „Nester" aus. Die vierte Hirnkammer spielt in den Lebensthätigkeiten des Gehirns eine hochbedeutsame Rolle, die wohl den Namen der „noblen", welchen ihr das Altertum beilegte, rechtfertigt; in ihr befindet sich nämlich der Ursprung des oft erwähnten Nervus vagus, des herumschweifenden Nerven, welcher der Herzbewegung und zum Teil auch der Atmung vorsteht.



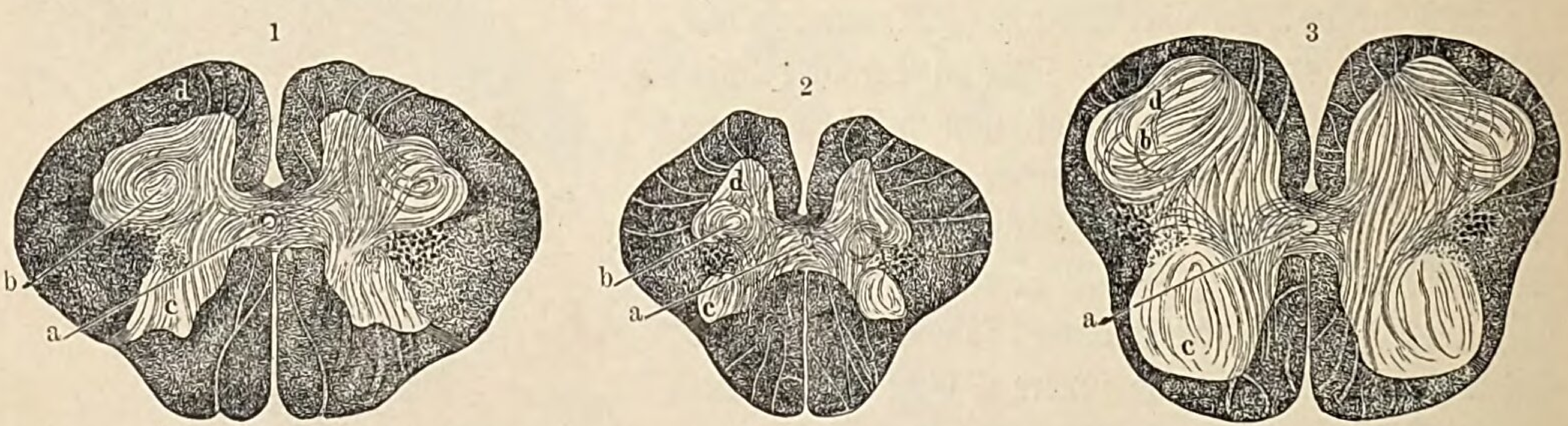
Medianer Schnitt durch das kleine Gehirn. a) Zentralläppchen, b) Berg, c) Wipfelblatt, d) Klappenwulst, e) Pyramide, f) Zäpfchen, g) Knötchen.

Die graue, die oberflächlichen Windungen des kleinen Gehirns überkleidende Substanz dringt relativ tief in das Innere ein, so daß namentlich an dem „Wurme" nur ein vergleichsweise schmales weißes Marklager im Inneren des Kleinhirns übrigbleibt. Schneidet man den „Wurm" in der Mittellinie von vorn nach hinten senkrecht durch, so erscheint auf der Schnittfläche seine schmale innere Schicht weißer nervöser Substanz, von welcher 7—8 sich mehr und mehr verzweigende Äste abgehen, welche zu den Abteilungen und Windungen der Oberfläche aufsteigen und alle mit grauer nervöser Substanz dick umrandet sind (s. obenstehende Abbildung). Dieses Bild mahnt an die rundlich-zackigen Blätter der Thuja occidentalis, des immergrünen Lebensbaumes, und hat daher den Namen „Lebensbaum" (Arbor vitae) erhalten. Ganz ähnlich ist übrigens der Anblick, wenn wir an irgend einer Stelle in das Kleinhirn einschneiden. Durchschneidet man eine Halbkugel des kleinen Gehirns in querer Richtung, so erscheint in der breiteren weißen, in die Äste und Zweige des Lebensbaumes ausstrahlenden Innenschicht ein weißer, mit einem grauen, zackigen Saume umgrenzter Kern der Halbkugel, der „gezackte Körper".

Das Rückenmark.

Weit einfacher als die bisher in ihren allgemeinsten Bauverhältnissen geschilderten, in der Schädelhöhle gelegenen Teile des zentralen Nervensystems: Groß- und Kleinhirn mit dem verlängerten Mark, ist der in der Rückgratshöhle gelegene strangförmige Abschnitt desselben, das Rückenmark, welches durch das verlängerte Mark mit dem Gehirn in Verbindung steht. Das Rückenmark erscheint im allgemeinen als ein Cylinder, welcher durch die schon oben bei der Beschreibung des verlängerten Marks erwähnten beiden in der Mittellinie herablaufenden Längsfurchen, die vordere und die hintere, in seitliche Hälften geteilt erscheint. Wir haben, was auch für das Rückenmark Geltung behauptet, an jener Stelle schon erwähnt, daß in der Tiefe der vorderen Längsfurche sich kreuzende Fasern, von rechts nach links verlaufend, die Kommissur bilden.

An den beiden Seitenflächen des Rückenmarkscylinders laufen auch noch je zwei Längsfurchen annähernd parallel mit der vorderen und hinteren Längsfurche als vordere und hintere Seitenfurchen herab, aus welchen die vorderen und hinteren Wurzeln der Rückenmarksnerven hervortreten. Am Halsteil des Rückenmarks treten beiderseits nach außen von der vorderen und hinteren Längsfurche zwischen diesen und den oben beschriebenen Seitenfurchen je zwei weitere Furchen, die vorderen und die hinteren Zwischenfurchen, auf. Gegen das konisch zugespitzte untere Ende des Rückenmarks verschwinden die Furchen nach und nach, die Endspitze des Rückenmarks zeigt keine Furche mehr. Durch diese Furchen wird die Oberfläche des Rückenmarks in sechs, am Halsteil in zehn „Rückenmarksstränge" geteilt. Rechts und links von der vorderen Längsfurche liegen die beiden durch die Kommissur sich verbindenden Vorderstränge, rechts und links von der hinteren Längsfurche die beiden Hinterstränge, zwischen den Seitenfurchen liegt jederseits ein Seitenstrang. Am obersten Ende des Rückenmarks (dem ersten oder zweiten Halswirbel entsprechend) schieben sich zwischen den beiden Vordersträngen die zwei „Pyramidenstränge" hervor, ebenso zwischen den beiden Hintersträngen, welche von da an den Namen der „Keilstränge" erhalten, die beiden „zarten Stränge".



Rückenmarksquerschnitte aus verschiedenen Höhen des Rückenmarks.
1) Halsanschwellung, 2) Brustteil, 3) Lendenanschwellung. a) Zentralkanal, b) und c) Vorder- und Hinterhorn der grauen Substanz, d) weiße Substanz.

Wir haben schon mehrfach hervorgehoben, daß die Außenfläche des Rückenmarks aus weißer nervöser Substanz, das Innere dagegen aus grauer Substanz bestehe. Die graue Substanz, in ihrer Mitte durch den engen Zentralkanal des Rückenmarks durchbohrt, durchzieht als eine mit zwei seitlichen Rinnen, einer hinteren und einer vorderen, kannelierte Säule den Rückenmarkscylinder von unten bis oben. Der Querschnitt dieser kannelierten, aus grauer (in den obigen Figuren hell gehaltener) Substanz bestehenden Säule bildet sonach eine X-förmige Figur mit zwei vorderen kürzeren und dickeren und mit zwei hinteren längeren und dünneren „Hörnern" (s. obenstehende Abbildung).

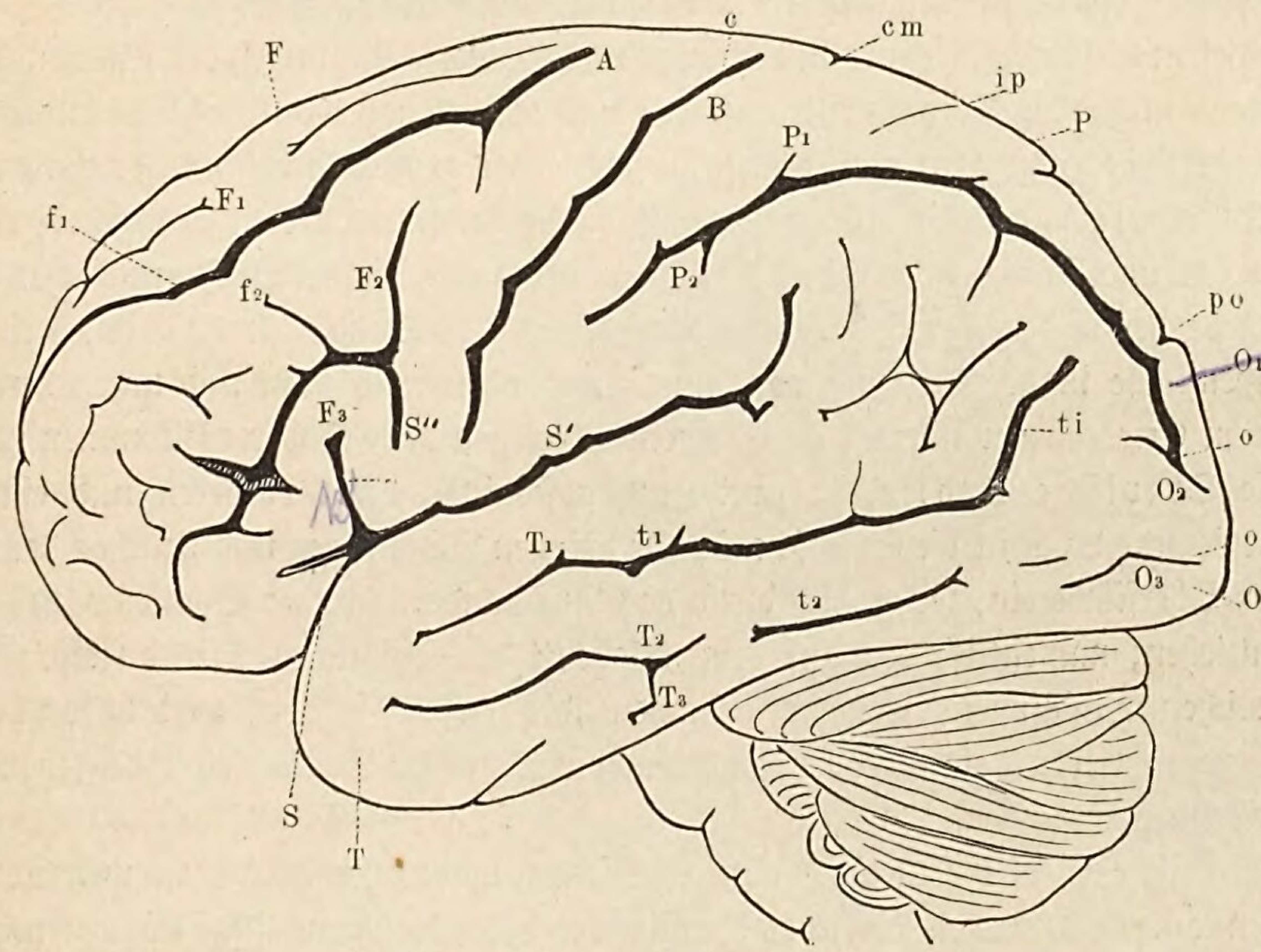
Den Faserverlauf in Rückenmark und Gehirn, den Zusammenhang der Nervenfasern der weißen Substanz mit den Nervenzellen der grauen Substanz werden wir im Zusammenhang mit den physiologisch-psychologischen Thätigkeiten des Zentralnervensystems untersuchen.

Windungen und Furchen der Großhirnoberfläche des Menschen.

Ein Blick auf die Oberfläche des Großhirns des Menschen scheint zunächst nur ein mäandrisch verschlungenes Gewirr von Windungen und Furchen darzubieten, dessen Auflösung und einem wenn auch zunächst nur schematischen Verständnis seines Verschlingungsprinzips unübersteigliche Hindernisse entgegenstehen. Sind ja doch, wenn wir diese scheinbar wirren Linien

auf das genaueste verfolgen, sogar die lokal einander entsprechenden Bildungen der einen Großhirnhemisphäre von denen der anderen bei dem gleichen Individuum meist nicht gleich, und endlos scheinen die individuellen Mannigfaltigkeiten und Differenzen zu sein, wenn wir die Oberflächen der großen Gehirne verschiedener Personen miteinander vergleichen. Eine Anzahl ausgezeichneter Forscher hat sich das Verdienst erworben, trotz alledem den leitenden Faden durch dieses Labyrinth gefunden zu haben.

Es ist ohne weiteres klar, daß es sich bei der Bildung der Windungen und Furchen auf der Großhirnoberfläche um eine sehr bedeutende Vergrößerung der aus grauer Gehirnsubstanz bestehenden Oberfläche des Großhirns handelt. Diese Oberfläche wäre eine weit kleinere, wenn sie



Hirnwindungen. (Nach Ecker.)

F) Stirnlappen, P) Scheitellappen, O) Hinterhauptslappen, T) Schläfenlappen, S) Sylvische Spalte, S') horizontaler, S'') aufsteigender Schenkel derselben, c) Zentralfurche (Sulcus centralis), A) vordere, B) hintere Zentralwindung, F_1) obere, F_2) mittlere, F_3) untere Stirnwindung, f_1) obere, f_2) untere Stirnfurche, P_1) oberes, P_2) unteres Scheitelläppchen, ip) Scheitelfurche, cm) Ende der Balkenfurche, O_1) erste, O_2) zweite, O_3) dritte Hinterhauptswindung, po) Scheitel-Hinterhauptsspalte, o) hintere quere, o_2) untere längslaufende Hinterhauptsfurche, T_1) erste, T_2) zweite, T_3) dritte Schläfenwindung, t_1) erste, t_2) zweite Schläfenfurche. Vgl. Text, S. 526.

glatt sich über den Kern des Gehirns hinbreiten würde; nun sind aber die Verhältnisse derart, als wäre ein viel zu weiter, etwa aus Papier oder Zeug bestehender Überzug durch Zusammenfalten und Zusammenknittern um den Gehirnkern, wie um ein schlecht eingewickeltes Gepäckstück, angedrückt. Je weiter dieser Überzug ist, desto zahlreicher und mannigfaltiger müssen seine Falten, desto tiefer die zwischen diesen auftretenden Furchen sein. Denken wir uns die Gehirnoberfläche mit allen ihren Windungen und Furchen von dem Kern des Gehirns wie eine Haut abgezogen, alle Falten und Furchen ausgeglättet und dadurch die ganze graue Oberfläche auf einer Fläche ausgebreitet, so würde die so hergestellte Fläche weit größer sein als die glatte Oberfläche des Gehirnkernes. Wir denken uns hierbei das Verfahren bei dem Ausziehen und Glätten der abgezogen gedachten grauen Gehirnoberfläche so, wie man eine verknitterte Serviette, die auf einem relativ kleinen Raume zusammengedrückt ist, auf einem Tisch ausbreitet und ihre Falten glättet. Je zahlreicher die Windungen, je tiefer die zwischen denselben sich einsenkenden Spalten oder Furchen sind, eine desto größere Fläche wird sonach die vollkommen glatt ausgebreitet gedachte Gehirnoberfläche einnehmen.

Lange war man schon auf dieses Verhältnis aufmerksam und um so mehr, seitdem die mikroskopischen Untersuchungen in der Substanz der grauen Hirnrinde, welche in den Nerven- oder Ganglienzellen so viele der eigentlichen physiologischen Zentren der Gehirnthätigkeit enthält, gegenüber dem vorwiegend aus weißer, aus nervösen Leitungsfasern zusammengesetzter Substanz bestehenden Gehirnkern den wichtigeren Gehirnabschnitt erkannt hatten. Es ist eine alte und oft wiederholte Lehre, daß wir in der grauen Großhirnrinde das Organ für die höchsten nervösen Thätigkeiten zu erblicken haben. Dem entsprang naturgemäß die Meinung, daß in der größeren Anzahl und der größeren Mannigfaltigkeit der Großhirnwindungen und in der größeren Tiefe der die Windungen voneinander trennenden Furchen sich eine entsprechend höhere Ausbildung des Organs für die höchsten nervösen Thätigkeiten ausspreche.

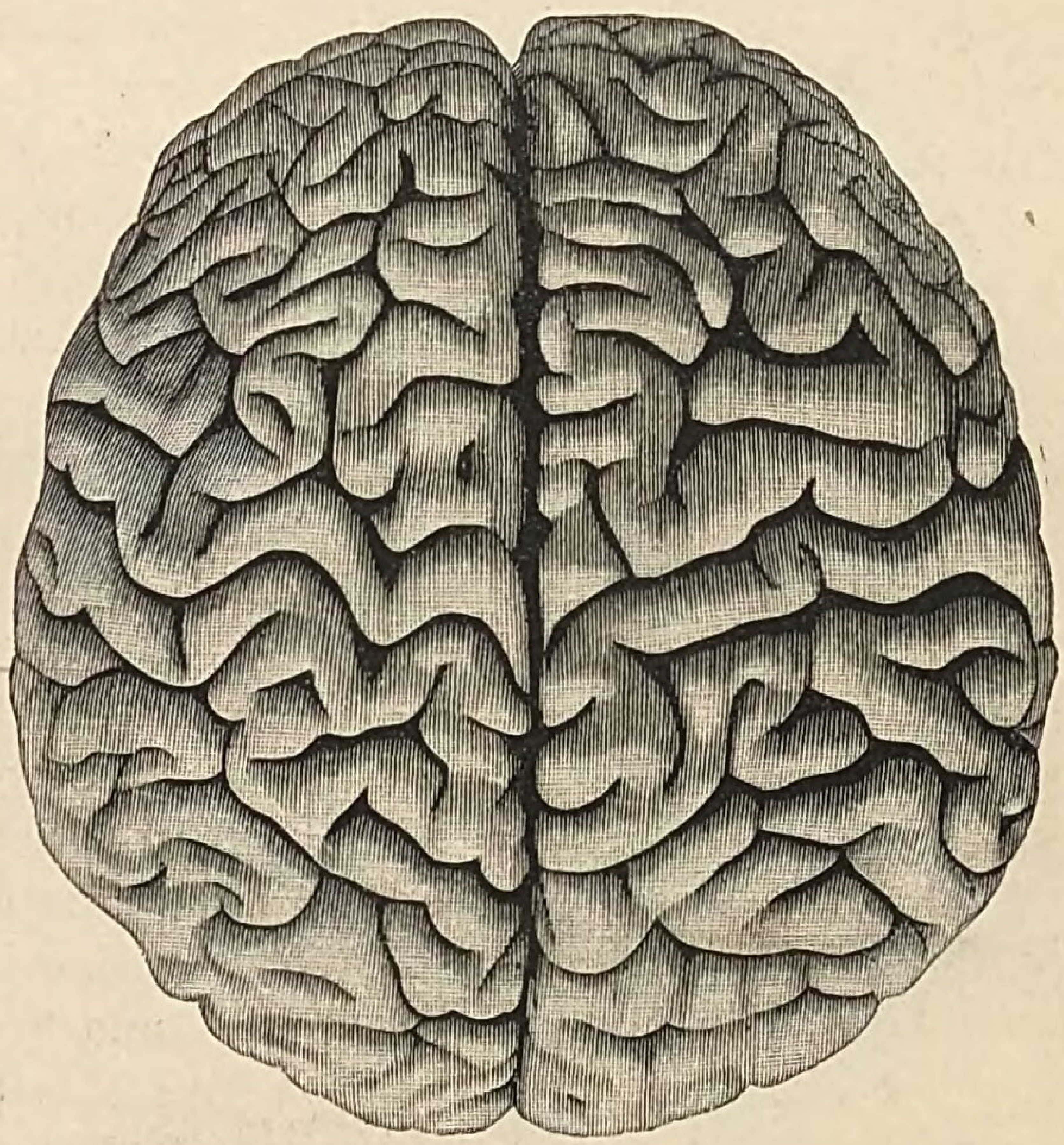
Von diesem Gesichtspunkt aus interessieren uns die Verschlingungen der Furchen und Wülste des Großhirns in hohem Grade. Wir erinnern uns daran, daß das Großhirn durch die große und tiefe sagittale, von vorn nach hinten laufende, der großen Hirnsichel der harten Hirnhaut entsprechende Mittelspalte in die zwei Hemisphären getrennt wird. In diese Spalte dringen die Windungen und Furchen der Oberfläche ein und bedecken die beiden Innenflächen der Hemisphären. Jede der beiden Hemisphären wird wieder (s. Abbildung, S. 525) durch eine seitliche, an der Außenfläche in der Richtung von hinten und oben nach vorn und unten herablaufende tiefe, bei dem Erwachsenen normal durch Aneinanderlegen der Ränder vollkommen verschlossene Spalte, die Sylvische Spalte, in zwei Hauptabschnitte, einen vorderen und einen seitlich-hinteren, getrennt. Auch in die Sylvische Spalte dringen Windungen und Furchen der Großhirn-hemisphären-Oberfläche ein, welche sich durch das Aneinanderlegen der Spaltenwände dem Auge zunächst entziehen; namentlich den auf dem „Boden" der Sylvischen Spalte (resp. Grube) versteckt befindlichen Windungen, welche den Namen „die Insel" führen, wird hohe physiologische Bedeutung zugeschrieben, ebenso aber auch den die Sylvische Spalte selbst begrenzenden oberflächlichen Gehirnwindungen.

Die Sylvische Spalte deutet die nähere Gliederung des Großhirns in mehrere Abschnitte oder Lappen an. Es werden an jeder Hemisphäre des Großhirns fünf Lappen unterschieden. Der vor der Sylvischen Spalte gelegene Abschnitt der Großhirnhemisphäre wird als Stirnlappen bezeichnet. Der unter der Spalte gelegene, nach vorn und unten seitlich zapfenartig vorspringende Abschnitt ist der Schläfenlappen. Über der Sylvischen Spalte, über dem Schläfenlappen, nimmt etwa die Mitte der Hemisphärenoberfläche der Mittellappen oder Scheitellappen ein; die hinterste Partie der Hemisphäre, welche das Kleinhirn überdeckt, ist der Hinterlappen. In der Tiefe der Sylvischen Spalte verborgen, nur sichtbar, wenn man ihre Ränder auseinander zieht, liegt der fünfte Großhirnlappen, die Insel oder der Stammlappen. Diese Bezeichnungen der Lappen wurden von Arnold gewählt nach den die Lappen vorzugsweise umschließenden Schädelknochen. So ruhen die Stirnlappen jeder der beiden Hemisphären bei der normalen Lagerung des Gehirns in der Schädelkapsel in den vorderen Schädelgruben mit ihren Unterflächen auf dem von dem Stirnbein gebildeten Dache der Augenhöhlen, überwölbt von dem die knöcherne Stirn bildenden Teile des Stirnbeines. Der Schläfenlappen steht in ähnlicher Beziehung zum Schläfenbein, der Scheitellappen zum Scheitelbein, der Hinterhauptslappen zum Hinterhauptsbein. Zur Orientierung über die Gehirnlappen sowie über die Windungen und Furchen des Großhirns geben wir eine der berühmten Abbildungen von A. Ecker (s. S. 525), welche durch die beigesetzten Bezeichnungen für unser hier vorliegendes Bedürfnis ohne weitere Beschreibung verständlich ist.

Während der individuellen Entwickelung des Gesamtkörpers und Gehirns entstehen die Windungen und Furchen erst nach und nach, und noch bei dem Neugeborenen erscheint die

Oberflächenskulptur des Großhirns wesentlich einfacher als bei dem Erwachsenen. Ein geringerer Reichtum an Windungen und Furchen, eine geringere Tiefe der letzteren erscheint sonach, wenn wir sie bei dem Erwachsenen finden, als ein Stehenbleiben auf einer unentwickelteren Stufe der Gehirnausbildung.

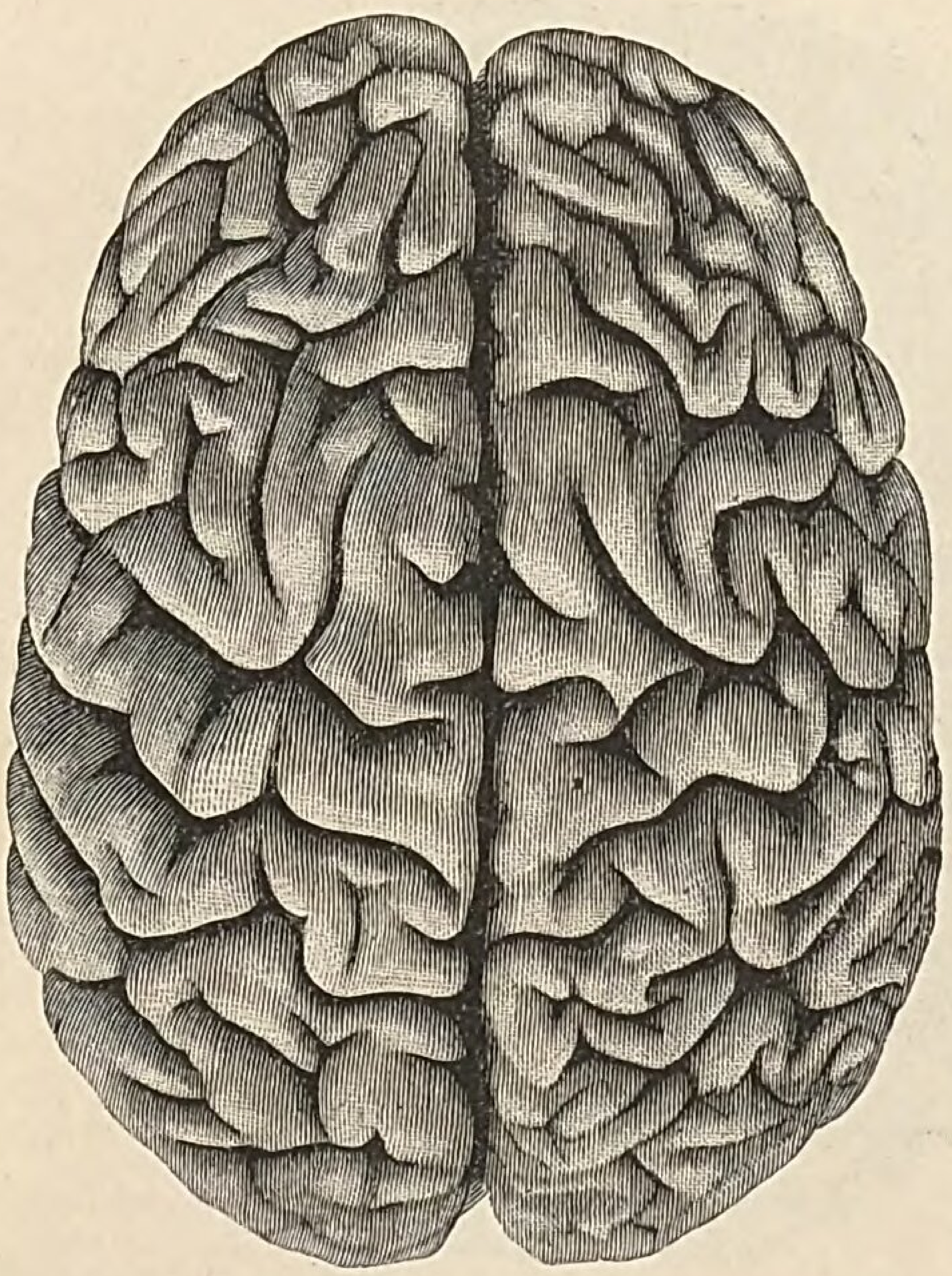
Von dem Gesichtspunkt der größeren oder geringeren Oberflächenvermehrung der grauen Gehirnrinde aus werden uns die Untersuchungen interessant, welche man vergleichend über die größere oder geringere Zahl, die schwächeren oder stärkeren Krümmungen der Windungen und die größere oder geringere Tiefe der Furchen der Großhirnoberfläche bei verschiedenen Individuen, verschieden nach Rasse, Geschlecht und geistiger Leistung während des Lebens, angestellt hat. Diese Untersuchungen wurden schon vor längerer Zeit, in Deutschland namentlich von Huschke und R. Wagner, begonnen. Sie ergaben das allgemeine Resultat, daß bei geistig hoch stehenden Männern sich das Gehirn meist nicht nur durch ein höheres Gesamtgewicht (vgl. unten), sondern auch durch zahlreichere und verschlungenere Windungen und tiefere Furchen vor den Gehirnen geistig weniger hochstehender Männer auszeichnet. Ausnahmen nach beiden Richtungen sind dabei freilich keineswegs selten und um so verständlicher, da man als Maßstab der geistigen Arbeit des Individuums nur den Erfolg, der sich in der äußeren Lebensstellung ausspricht, verwendet hat. Aber ist es richtig, wenn wir einem Menschen, dessen Lebensweg, nur zu oft durch äußere Verhältnisse, ohne sein eigenes persönliches Zuthun, gebahnt, wir zu den höchsten Ehren ansteigen sehen, ein größeres Maß geistiger Arbeit zuschreiben als einem einfachen Handwerker, welcher in ununterbrochenem geistigen Ringen mit Schwierigkeiten, wie sie jener von den Verhältnissen Begünstigte nicht einmal ahnt, Hohes, wie oft nur durch äußere Hindernisse erfolglos, erstrebt? Virchow hat mit Recht darauf hingewiesen, daß das Ringen um die Existenz bei unseren mit weit geringeren äußeren Hilfsmitteln ausgestatteten, von uns so gern hochmütig beurteilten ältesten Vorfahren, wo der einzelne wesentlich auf sich selbst gestellt war, eine gewiß nicht kleinere geistige Arbeit erforderte als die Lebensführung des heutigen Geschlechts, welches auf Schritt und Tritt von der Gesellschaft und Familie von Jugend auf getragen und gestützt wird. Virchow brachte mit diesem Verhältnis seine Beobachtung in Verbindung, daß die Größe des Gehirns bei den Bewohnern der der Urgeschichte angehörenden Schweizer Pfahlbauten im Durchschnitt keine kleinere, sondern sogar eine größere war als bei den mit allen Hilfsmitteln der Zivilisation ausgestatteten heutigen Bewohnern jener Gegenden. So kann es uns nicht verwundern, wenn wir das Gehirn eines einfachen unbekannten Arbeiters (s. obenstehende Abbildung), dessen geistiges Ringen nicht Beachtung fand, windungsreicher finden als das so manches Gelehrten, oder wenn wir finden, daß unter unserer Bevölkerung Individuen, als geistig für die



Gehirn eines Münchener Arbeiters, brachykephal.
(Nach Photographie.)

Aufgaben des Lebens genügend begabt, umhergehen, deren Gehirn sich noch recht wenig von jener Einfachheit der Oberflächenbildung entfernt, welche für die letzten Monate des Fruchtlebens charakteristisch ist.

Man hat mehrfach beobachtet, daß das Gehirn von Angehörigen der dunkeln und schwarzen afrikanischen Völker, namentlich der „eigentlichen Neger" (s. untenstehende Abbildung), einfachere Oberflächenbildung zeigt als das von Angehörigen der Kulturvölker. Man glaubt Grund zu haben, ein entsprechendes Verhalten bei anderen sogenannten Naturvölkern zu vermuten; aber das ist sicher, daß unter uns gewiß Individuen in Beziehung auf ihre Gehirnfunktionen unbeanstandet umhergehen, welche an Einfachheit der Gehirnoberfläche mit den Naturvölkern nicht nur auf der gleichen Stufe stehen, sondern darin noch ziemlich weit hinter denselben zurückbleiben. Ich sah bei Herrn Rüdinger die Gehirne der in der Schweiz verstorbenen Feuerländer, Vertreter eines Menschenstammes, welcher von den Ethnologen zu den allerniedrigst stehenden gerechnet zu werden pflegte; diese Gehirne dürfen aber auch im Vergleich mit den bei uns typischen Verhältnissen für relativ gut entwickelt gelten. Wir besitzen noch keine auf statistisches Material gegründete vergleichende Gehirnlehre der Menschenrassen, die Ausarbeitung einer solchen ist eine, freilich schwierig zu lösende Hauptaufgabe der modernen Anthropologie.

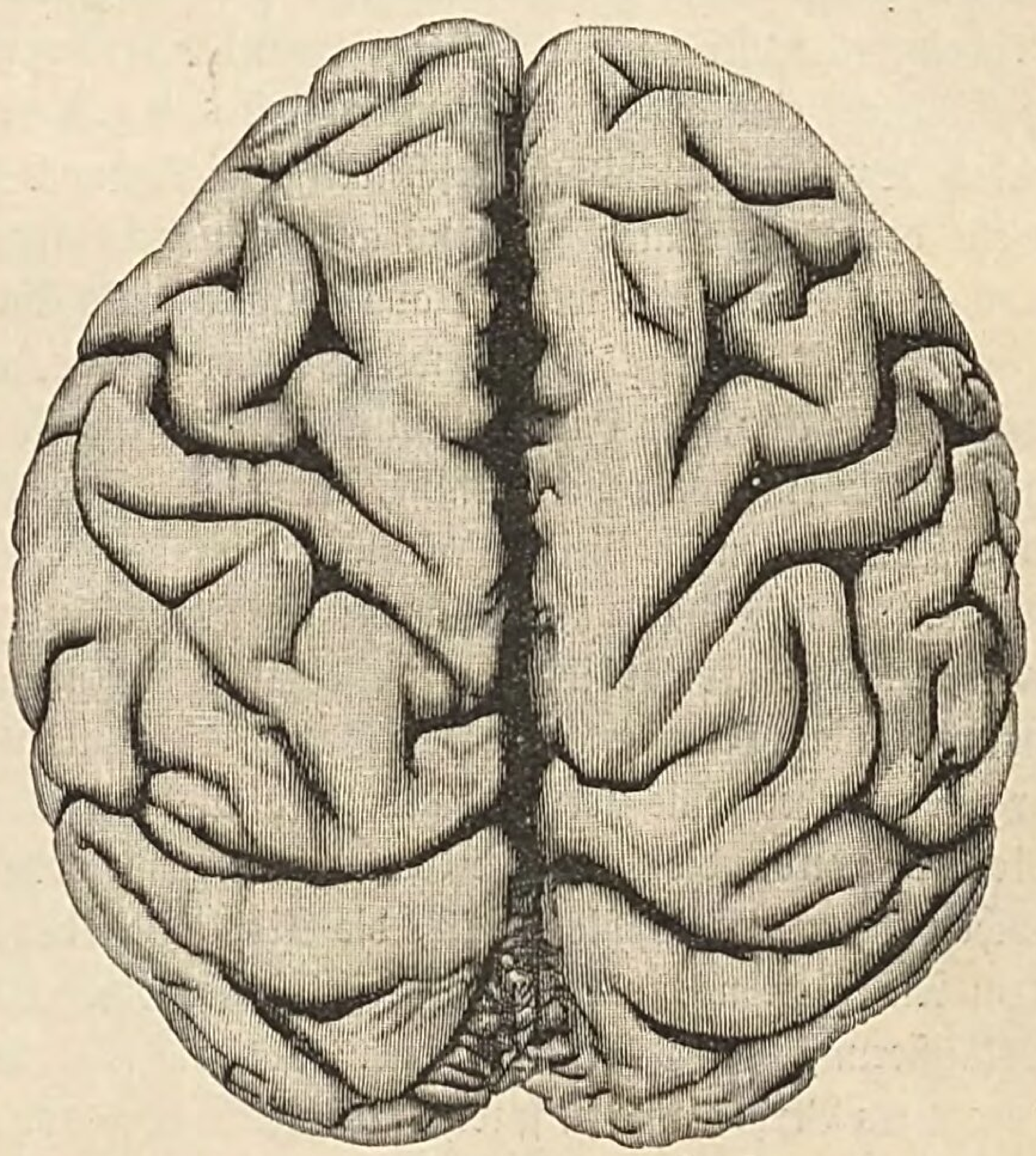


Gehirn eines Negers, dolichokephal. (Nach Photographie.)

In neuester Zeit wurde die Frage nach den Ursachen der individuellen Verschiedenheiten der Oberflächenskulptur der Großhirnhemisphären des Menschen namentlich mit Erfolg von N. Rüdinger behandelt. Er fand bei Angehörigen der gleichen Bevölkerung einen Unterschied in der Richtung der Furchen und Windungen nach der Schädelform des Individuums. Die Zentralfurchen und Zentralwindungen und die anderen diesen annähernd parallelen Furchen und Windungszüge (s. Abbild., S. 527) verlaufen, z. B. bei Angehörigen der Münchener Stadtbevölkerung, wenn ihre Schädelform eine langköpfige, dolichokephale, ist, in vorwiegend schief nach hinten gerichteter Anordnung, während dieselben Furchen und Windungen aus einem mehr kugeligen, brachykephalen, Kopfe in größtenteils quer aufsteigender, transversaler, Richtung angeordnet sind. Diese vorwiegend quere Richtung der betreffenden Windungen und Furchen wurde auch von anderen Forschern, namentlich auffallend bei den höheren und höchsten Graden der Kurzköpfigkeit beobachtet. Rüdinger glaubt weiter, gestützt auf ein sehr reiches Material von Beobachtungen, auch den Satz aussprechen zu dürfen, daß bei dem weiblichen Geschlecht die Furchenbildung der Gehirnoberfläche später im Entwickelungsleben auftritt, und daß auch noch nach der Geburt, ja noch im erwachsenen Alter das weibliche Gehirn sich von dem männlichen durch eine größere Einfachheit der Skulptur seiner Oberfläche unterscheide. Immerhin gesteht Rüdinger zu, daß man unter den Frauengehirnen solchen von männlichem Bildungstypus und umgekehrt unter den männlichen Gehirnen solchen von weiblichem Typus doch nicht ganz selten begegne. Zwei Stellen sind es, denen bei dieser Vergleichung besondere Aufmerksamkeit zugewendet wurde: die dritte untere Stirnwindung, in

welche Broca das „Sprechzentrum" verlegte (vgl. S. 530), und jenes Grenzgebiet zwischen Scheitel- und Hinterhauptslappen, an welchem sich die erste obere Hinterhauptswindung Eckers (die innere obere Übergangswindung Gratiolets) befindet.

Namentlich zieht die letztere Gegend der Großhirnoberfläche unsere Aufmerksamkeit auf sich, weil sich das Menschengehirn gerade hier in recht auffallender Weise von den Gehirnen der niedriger stehenden Affen unterscheidet, während die Gehirnentwickelung bei den menschenähnlichen Affen sich mehr der menschlichen annähert (s. untenstehende Abbildung). Die Ausbildung der die Scheitellappen und Hinterhauptslappen verbindenden ersten Hinterhauptswindung, begleitet von einer entsprechenden Ausbildung der ganzen Skulptur des Schläfenlappens, erscheint nach den Untersuchungen Rüdingers bei verschiedenen Menschen sehr wechselnd. Während sie in ihrer einfachsten Gestalt, wie meist auf dem Gehirn der noch ungebornen Menschenfrucht, nur in einfachem, nach außen und unten konvexem Bogen die Scheitel-Hinterhauptspalte umkreist, ein Verhalten, welches bei den Gehirnen von Frauen häufiger vorkommen soll als bei denen von Männern, bildet sie auf Gehirnen „geistig hochstehender Männer", von denen 18 in Natura, 2 in Abbildung verglichen werden konnten, einen verwickelten Windungskomplex, welcher die Scheitelfurche gleichsam nach abwärts drängt und den Scheitellappen dadurch oft sehr wesentlich vergrößert. Gerade dieses Verhältnis ist es meist, welches die Gehirne windungsreicher erscheinen läßt als andere, bei denen hier nur ein schmaler Bogenzug vorhanden ist. Es wäre freilich verfrüht, hieraus schon den Schluß ziehen zu wollen, als säße und arbeite hier in der ersten Hinterhauptswindung der menschliche Geist mit seinen höchsten Fähigkeiten. Nach Landois ist bei dem Menschen in dieser Gegend auch das „Zentrum zu suchen für die Bewegung der Beine und Füße", für das Aufrechtgehen, eine Fähigkeit, welche den Menschen von dem Affen so wesentlich unterscheidet.



Gehirn eines Orang-Utan. (Nach Photographie.)

Auch das Verhalten der dritten Stirnwindung, in welche Broca das „Sprechzentrum" hauptsächlich verlegte, haben von Bischoff und Rüdinger genauer untersucht. Der Unterschied zwischen Affen- und Menschengehirn spricht sich in einem beinahe oder ganz vollkommenen Mangel der dritten Stirnwindung, entsprechend der mangelhaften Ausbildung des vorderen, aufsteigenden Astes der Sylvischen Spalte, bei den niedrigen Affen aus; bei den menschenähnlichen Affen, und zwar bei Orang-Utan und Schimpanse, tritt mit dem aufsteigenden Aste der Sylvischen Spalte auch die dritte, diesen umziehende untere Stirnwindung als ein meist einfacher Bogen am Stirnhirn äußerlich auf, ein Verhältnis, welches in gewissem Sinne an die entwickelungsgeschichtliche Bildung der dritten Stirnwindung beim Menschen erinnert. Bei dem Gorilla ist dagegen nach von Bischoff und Rüdinger der aufsteigende Schenkel der Sylvischen Spalte, entsprechend dem Verhältnis bei den niedrigen Affen, nur durch eine innerhalb der Sylvischen Spalte versteckte

Furche angedeutet, um welche sich ein höchst geringfügiges Rudiment der dritten oder unteren Stirnwindung nachweisen läßt.

Bei dem Menschen finden wir die dritte Stirnwindung in sehr verschiedener individueller Ausbildung. Nach Brocas Meinung ist das motorische Hauptzentrum der Sprechfähigkeit meist in der dritten Stirnwindung der linken Großhirnhemisphäre zu suchen, die Menschen sind meist „linkshirnige Sprecher". Dem entsprechend findet Rüdinger in der Mehrzahl der von ihm untersuchten Fälle die dritte Stirnwindung der linken Hemisphäre stärker entwickelt und stärker geschlängelt und gewunden als jene der rechten Gehirnseite. Besonders mächtig und kompliziert fand er die Entwickelung der dritten Stirnwindung, der „Brocaschen Windung", bei Männern, die sich während ihres Lebens als Redner ausgezeichnet haben. Hier wölbte sich, öfters schon äußerlich am Kopfe sichtbar, die linke Schläfengegend stärker hervor als die rechte. Auffallend erscheint es dabei aber, daß das Gehirn der Frauen (die sich doch im Leben vor den Männern meist durch eine größere Zungenfertigkeit und größere und ununterbrochenere Inanspruchnahme ihres „Sprechzentrums" unterscheiden), wie es nach Rüdinger im allgemeinen eine einfachere, mehr der embryonalen sich noch annähernde Skulptur der Gehirnwindungsoberfläche zeigt, so auch speziell meist eine weniger ausgebildete dritte Stirnwindung besitzt.

Die „Rassengehirne", welche bisher genauer auf das Verhalten der dritten Stirnwindung von Rüdinger, der ersten Autorität auf diesem Gebiete, geprüft werden konnten, zeigen auch hier relativ einfachere Verhältnisse, immerhin ergeben die vergleichenden Abbildungen, daß Neger und Hottentotten in dieser Beziehung noch besser begabt sind als manche Individuen unseres Volkes; es wird das namentlich bei der Vergleichung mit dem Gehirn einer „deutschen Frau", welches Rüdinger abbildet, unzweifelhaft dargelegt; auch bezüglich der Bildung der ersten Hinterhauptswindung-Ecker gilt dieser Satz. Die Untersuchungen der Gehirne von Taubstummen ergaben bisher keine zweifelsfreien Resultate. Rüdinger weist darauf hin, daß, da bei dem Neugebornen die Sylvische Grube und zwar vorwiegend von der Stirnlappenseite her noch nicht vollkommen geschlossen ist, die Möglichkeit der Ausbildung der dritten Stirnwindung bei dem Menschen noch nach der Geburt fortbestehe. Wir werden bei der Untersuchung über „die Lokalisierung der Gehirnfunktionen" und die mikrokephalen Gehirne nochmals auf die hier angedeuteten Verhältnisse zu sprechen kommen. Waldeyer hat speziell die Insel des Anthropoiden- und Menschen-Gehirns zum Gegenstand eingehender vergleichender Studien gemacht. Als Resultat ergibt sich, daß ein prinzipieller Bauunterschied auch hier, wie bei der dritten Stirnwindung und anderer, nicht existiert, die menschliche Form ist nur eine stärkere Komplizierung der einfacheren Bildung der Anthropoiden.

Die Lokalisation der Gehirnfunktionen.

Die ersten Entdeckungen über den Bau des Zentralnervensystems und über den Zusammenhang der Nerven mit demselben hatten die Meinung erweckt, daß es sich bei dem Nervensystem um ganz analoge Einrichtungen handle wie bei dem Blutgefäßsystem, eine Meinung, welche seit Galenos' Tagen durch das spätere Altertum, durch das Mittelalter bis in die Neuzeit geherrscht hat und noch in unser Jahrzehnt herein ihren Schatten wirft.

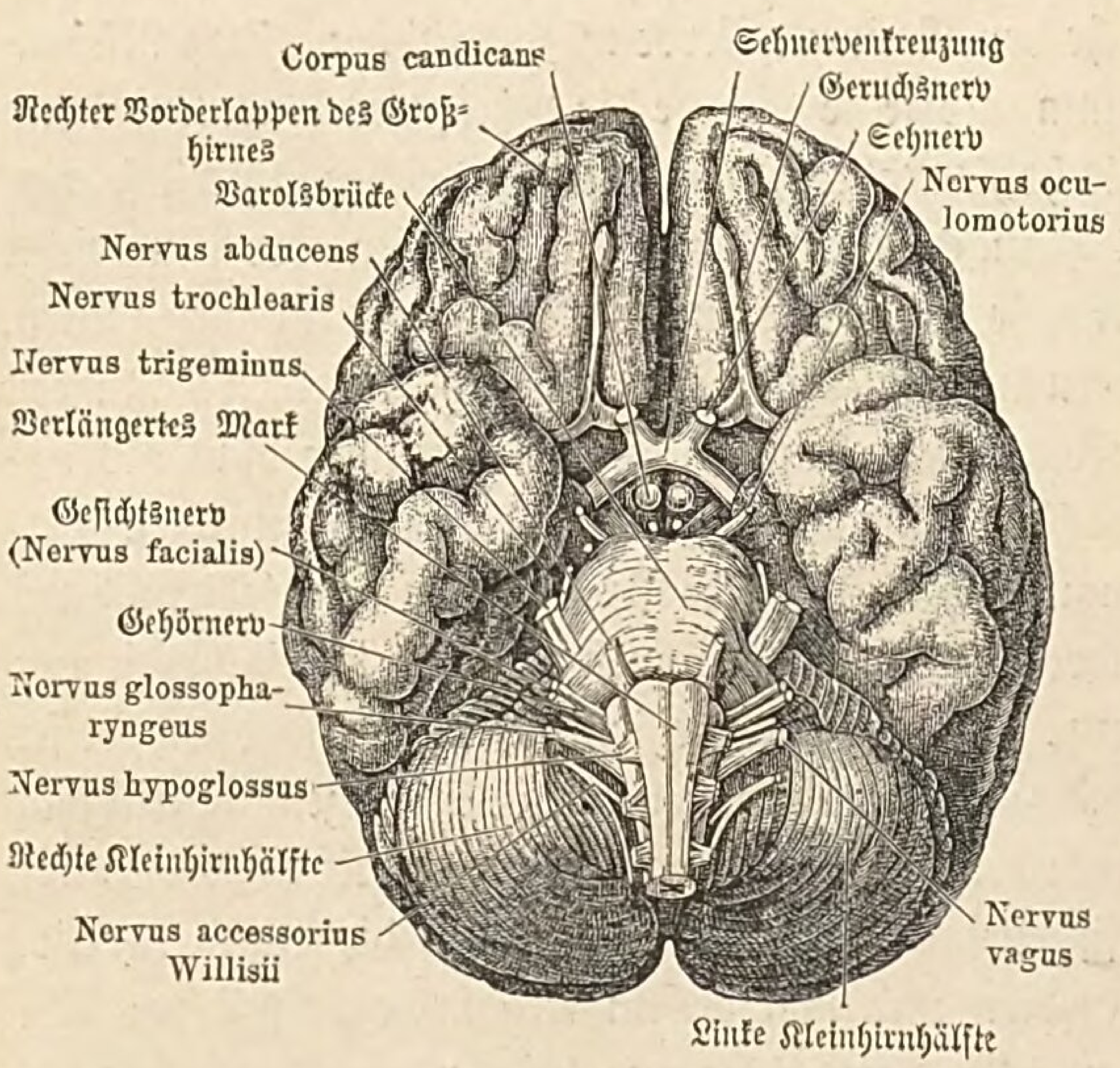
Aristoteles und seine Nachfolger hatten in außerordentlich geistvoller Weise die Lehre ausgebaut, daß das Herz das Zentralorgan des Wollens und Empfindens sei; daß durch Anstoß und mechanischen Zug vermittelst der hier wie Sehnen wirkenden Blutgefäße (Arterien) vom Herzen aus die willkürlichen Thätigkeiten des Organismus hervorgerufen würden, daß durch äußeren

Anstoß auf die in der Peripherie des Körpers (in Haut und Sinnesorganen) gelegenen Endigungen der Blutgefäße das Blut in denselben in Wellenbewegungen versetzt werde, welche, von außen her dem Herzen als dem angenommenen Zentralsitz der Empfindung, dem „inneren Sinnesorgan", zugeleitet, in diesem jene „Veränderungen" hervorrufen sollten, in welchen das Wesen des Empfindungsaktes gesucht wurde. Die Theorie vom Herzen als dem Zentralsitz der Empfindung und des Wollens, von den Blutgefäßen (Arterien) als Leitungsorganen der Empfindungs- und Bewegungsanstöße war im mechanischen Sinne so vollkommen und überzeugend ausgebildet, daß man wenigstens die Theorie in ihren Hauptzügen glaubte aufrecht erhalten zu können, auch nachdem man erkannt hatte, daß nicht das Herz, sondern das Gehirn als Zentralsitz des Wollens und Empfindens, als „inneres Sinnesorgan", angesprochen werden müsse.

Man übertrug in diesem Sinne den Namen „Nerven", welchen man bis dahin für die Sehnen und zum Teil für die vom Herzen ausgehenden arteriellen Blutgefäße gebraucht hatte, auf jene strangförmigen Ausläufer des Gehirns, welche den Namen „Nerven" jetzt führen. Das Rückenmark erschien als ein großer Nervenhauptstamm, als seine Zweige die Rückenmarksnerven. Man dachte sich die Nerven, wie die Blutgefäße, als hohle Röhren, von einer oder vielen äußerst feinen, daher dem freien Auge unsichtbaren Röhrenlichtungen durchzogen, welche wie jene der Blutgefäße in die Vorkammern und Kammern des Herzens, so in die Kammern des Gehirns münden sollten. Das Gehirn selbst erschien mit seinen Kammern im Bau dem Herzen ähnlich, in seinen Kammern fand man eine wässerige „Nervenflüssigkeit" (die Cerebrospinalflüssigkeit), weniger dicht als das Blut und daher scheinbar geeigneter als jenes, den feinen nervösen Funktionen vorzustehen. Das Gehirn sollte pulsieren wie das Herz, kann man doch rhythmische Bewegungen des Gehirns durch die noch weiche, zum Teile häutige Schädeldecke jedes neugeborenen Kindes (in Wahrheit veranlaßt durch den pulsierenden Schlagaderkranz, auf dem das Gehirn aufruht, und durch dessen Pulsationen es gehoben wird) wahrnehmen. Klappeneinrichtungen, wie beim Herzen am Eingang der Kammern stehend, sollten im Gehirn die Strömung der Nervenflüssigkeit regeln wie die Herzklappen die Blutbewegung. Die Nervenflüssigkeit sollte sich, nachdem einmal die Blutzirkulation entdeckt war, in den „Nervenröhren" zum Gehirn und von diesem weg bewegen wie das Blut in den Arterien und Venen. Empfindungs- und Bewegungsnerven, beide röhrenförmig gedacht, sollten, den Arterien und Venen entsprechend, diese durch das Netz der Haargefäße, so jene durch ein hypothetisch angenommenes Netz schlingenförmig von den Empfindungsnerven zu den Bewegungsnerven umbiegender feinster Nervenästchen miteinander verbunden sein. Es sind wenige Jahrzehnte vergangen, als die alte Galenossche Lehre in der vorgeblichen Entdeckung dieser „Nervenendschlingen", die als ein besonders wichtiger mikroskopischer Fortschritt gepriesen wurde, noch eine scheinbar prächtige, freilich aber nur sehr vergängliche Blüte treiben konnte.

Cartesius, welcher mit Begeisterung Harveys Entdeckung vom Blutkreislauf in Frankreich und Deutschland popularisierte, bildete konsequent die von Galenos schon aufgestellte Analogie des Gehirns und der Nerven mit dem Herzen und den Blutgefäßen in dem eben geschilderten Sinne aus. Die dem Eingang der mittleren Gehirnhöhle vorgelagerte Zirbeldrüse, die „kleine Eichel des Gehirns", sollte als Zentralklappe die Bewegung der Nervenflüssigkeit oder, wie man zu sagen pflegte, die „Nervengeister" beherrschen und regulieren; unzählige feinste, freilich „unsichtbare" Klappen sollten die Mündungen der in die Hirnhöhlen eintretenden Nervenröhren bald öffnen, bald verschließen können, und ihr Offenstehen oder ihr Verschluß sollte durch gewisse Bewegungen der Gehirnzentralklappe, eben jener kleinen Eichel, der Zirbel, bedingt werden. So wurde Cartesius folgerichtig zu dem weiteren Schlusse geführt, daß die Zirbel der eigentliche Zentralsitz der nervösen Gehirnthätigkeit sei. In ihr sollten die Bewegungen zusammenlaufen, welche als äußere Anstöße die Nerven von der Haut und den Sinnesorganen zu dem Zentralsitz

der Empfindung und des Wollens leiten; wie durch einen Glockenzug die Glocke, so sollte die Zirbel durch die von den Empfindungsnerven nach dem Nervenzentrum geleiteten äußeren mechanischen Anstöße bewegt werden. Die auf diese Weise angeregten verschiedenartigen Bewegungen der Zirbel öffneten dann nach jener Annahme gewisse hypothetische kleine Klappen in den Gehirnhöhlen und zwar andere, je nachdem die Bewegungen der Zirbel selbst verschieden wären, und ließen infolge davon die „Lebensgeister“ in bestimmte dem Bewegungsvorgang vorstehende Nervenröhren einströmen, wodurch bestimmte Muskelbewegungen erzeugt würden. In scheinbar ungezwungener und recht anschaulicher Weise erklärte sonach diese Theorie zunächst die **Reflexbewegungen**, welche auf bestimmte äußere nervöse Reize mit so großer Regelmäßigkeit erfolgen. Indem man nun die weitere Annahme machte, daß die Zirbel oder „kleine Eichel“ auch unter dem Einfluß des Willens analoge Bewegungen wie durch Empfindungsanstoß ausführen könne, war nur noch ein Schritt zu der Lehre, daß die „kleine Eichel“ selbst der Zentralsitz des Willens und der Empfindung sei.



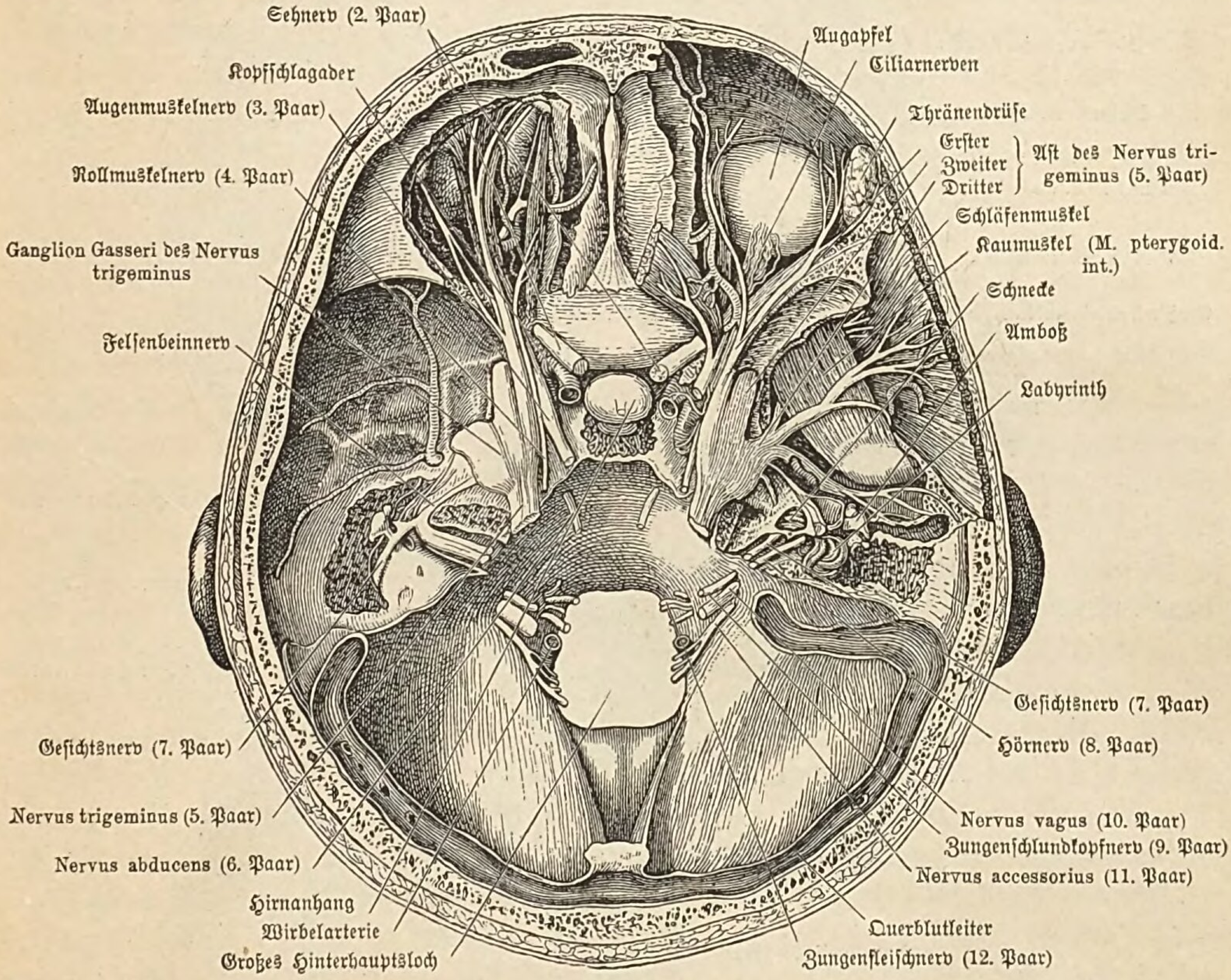
Die Nerven an der Basis des Gehirns.
Vgl. Text, S. 533.

So kam **Cartesius**, immer folgerichtig weiterschließend von einer freilich ganz falschen Prämisse aus, zu einer Lokalisierung der höchsten psychischen Vorgänge in einem einzigen im Gehirn zentral gelegenen Organ, alle anderen Gehirnabschnitte erschienen unter diesem Gesichtspunkt nur in dem Werte von Leitungsorganen nervöser Vorgänge.

Diesem Gedankengang ist die ganze Folgezeit treu geblieben. „Nervenröhren“, welche „Lebensgeister“ oder „Nervenäther“ oder „Nervenprinzip“, analog wie Blutgefäße das Blut, leiten sollten, blieben bis zu den Entdeckungen der Nervenelektrizität in fast allgemeinem Ansehen. Und niemals gab man den Gedanken auf, daß im Gehirn noch ein ganz spezielles Zentralorgan der höchsten psychischen Thätigkeiten, ein „Sitz der Seele“, zu suchen sei. Der Einheit unseres Selbstbewußtseins entsprechend, sollte dieser Sitz der Seele nach den älteren Annahmen in einem nur einzeln vorhandenen zentralen Gehirnorgan gelegen sein; da man der Cartesianischen kleinen Eichel, der Zirbel, die man lange fälschlich für eine Drüse hielt und danach Zirbeldrüse benannte, diese hohe Würde nicht glaubte länger zugestehen zu dürfen, so erschien es als ein wissenschaftlicher Fortschritt, den Balken oder den auf dem Türkensattel der Schädelbasis wie auf einem Thronsessel sitzenden „Gehirnanhang“, der wieder neuerdings als eine der „Steißdrüse“ entsprechende wahre Drüse angesprochen wird, als den wahren Sitz der Seele zu erklären. Auch die neueste Gehirnlehre kann sich bis jetzt dieses Gedankens an einen Zentralsitz der Seelenthätigkeiten, wenigstens zu einer schematischen Erklärung, nicht ganz entschlagen; wir kommen später darauf zurück.

Um die Bahnen zu verstehen, auf welchen im Gehirn die nervösen Thätigkeiten geleitet werden können, müssen wir uns zunächst wenigstens an die allgemeinsten anatomischen und physiologischen Einrichtungen des **peripherischen Nervensystems** erinnern.

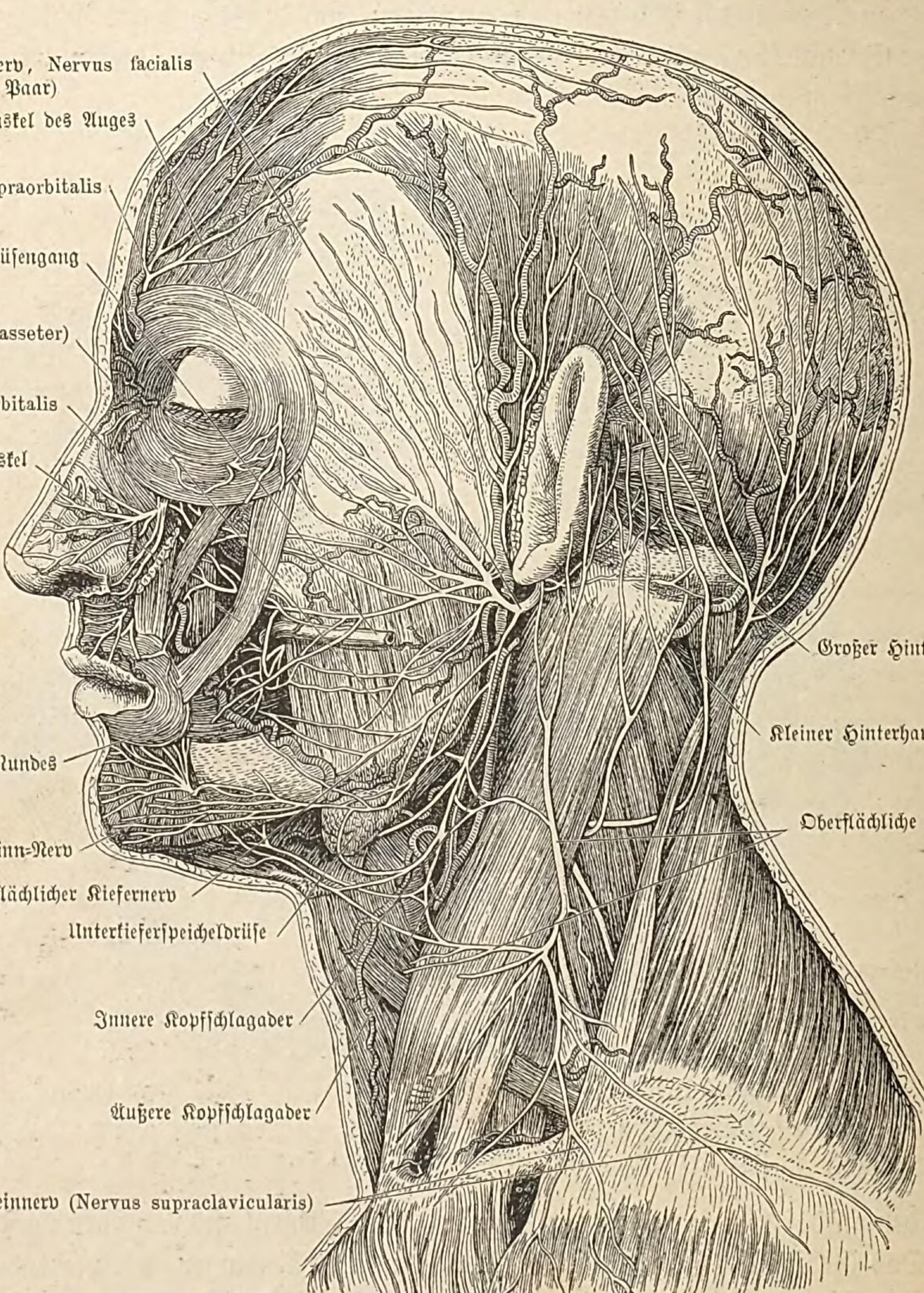
Die Entdeckungen in der anatomischen Physiologie des Nervensystems sehen wir einerseits auf der Erkenntnis beruhen, daß jeder „Nerv" eine ganz bestimmte, ihm speziell zugehörige Thätigkeitsaufgabe habe, daß also innerhalb des peripherischen Nervensystems eine vollkommene Lokalisation der Funktionen gilt, anderseits darauf, daß alle Nerven im Gehirn zusammenlaufen. Direkt gilt letzteres aber nur für die 12 Paare der eigentlichen Gehirnnerven, während die übrigen 31 Paare von Nerven, die Rückenmarksnerven, sich direkt mit dem Rückenmark und erst durch dessen Vermittelung mit dem Gehirn verbinden. Wir skizzieren hier nur kurz die speziellen Aufgaben der Hauptnervenstämme.



Die Nerven an der Schädelbasis. Vgl. Text unten und S. 534.

Von den zwölf Gehirnnervenpaaren (an der Gehirnbasis von vorn nach hinten gezählt; s. Tafel „Das Gehirn des Menschen" bei S. 532 und Abbildungen, obenstehende und S. 534) stehen vier den höheren Sinnesempfindungen vor, die übrigen acht Paare sind Bewegungs- und Empfindungsnerven (auch sekretorische und Ernährungsnerven) für den Kopf. Das erste Gehirnnervenpaar bildet der Riech- oder Geruchsnerv (Nervus olfactorius), das zweite Paar der Sehnerv (N. opticus), deren Funktionen die Namen direkt angeben. Das dritte (N. oculomotorius), vierte (N. trochlearis) und sechste (N. abducens) Paar der Gehirnnerven sind Bewegungsnerven für die in der Augenhöhle befindlichen Bewegungsorgane des Augapfels, die Augenmuskeln, und für die des oberen Augenlides. Das dritte Paar, der gemeinschaftliche Augenmuskelnerv, geht zu der Mehrzahl der betreffenden Muskeln und sendet auch Fasern in das innere Auge, um die Ringmuskeln der Regenbogenhaut (Iris) und den Akkommodationsmuskel zu innervieren; ist letzterer gelähmt, so erweitert sich die Pupille, und die Akkommodation

des Auges für das Sehen in der Nähe ist unmöglich. Das vierte Paar, der **Rollnerv**, geht nur zum Rollmuskel des Auges, und das sechste Paar, der **äußere Augenmuskelnerv**, versorgt nur den geraden äußeren Augenmuskel. Sehr wichtig ist das fünfte Paar, der **dreigeteilte Nerv**, Trigeminus (Nervus trigeminus, s. Abbildung, S. 533). Er besitzt Empfindungs- und Bewegungsfasern und entspringt wie ein Rückenmarksnerv mit zwei Wurzeln, einer



Oberflächliche Nerven des Kopfes und Halses, namentlich Nervus facialis. Vgl. Text, S. 535.

empfindenden, sensibeln, und einer bewegenden, motorischen. Seine empfindlichen Fasern vermitteln die Empfindung fast am und im ganzen Kopfe, ausgenommen ist nur ein Teil des Schlundes, der hintere Teil der Zunge, die hinteren Gaumenbogen, die Eustachische Trompete des Ohres und die Trommelhöhle, welche vom Zungen-Schlundkopfnerv und vom herumschweifenden Nerv (Vagus) ihre empfindlichen Fasern erhalten. Auch der innerste Teil des äußeren Gehörganges bekommt vom Vagus, ein Teil der Ohrmuschel und der Haut des Hinterkopfes von Nackennerven (Cervicalnerven des Rückenmarks) ihre Empfindlichkeit. Als Bewegungsnerv steht er vor allem dem Kauakt vor. Als Sekretionsnerv erregt er Absonderung in den

Thränendrüsen, Ohrspeicheldrüsen und Unterkieferspeicheldrüsen. Als trophischer oder Ernährungsnerv dient er allen jenen Organen, deren Empfindlichkeit er vermittelt. Auch ein Einfluß auf die Gefäßweite gewisser Augenteile und reflektorische Wirkungen auf die Speichelabsonderung werden dem Trigeminus zugeschrieben. Die Verbreitungsbezirke seiner drei Hauptäste siehe vorn (bei Haarmenschen). Ein größeres sympathisches Nervenknötchen (Ganglion Gasseri) steht mit seiner sensibeln Wurzel (wie bei den Rückenmarksnerven) in Verbindung, ebenso fünf andere sympathische Ganglienpaare des Kopfes. Das siebente Paar, der Antlitznerv (Nervus facialis, s. Abbildung, S. 534), ist Bewegungsnerv sämtlicher Antlitzmuskeln, nur die Kaumuskeln werden vom dritten Aste des Trigeminus innerviert. Der Facialis erregt also das veränderliche Spiel der Gesichtsmuskeln, die Mimik des Gesichts, er ist der „mimische Nerv". Auch einen der inneren kleinen Ohrmuskeln (den Steigbügelmuskel) versorgt er. Bei einseitiger Lähmung des Antlitznerven ist das Gesicht nach der gesunden Seite verzerrt. Seinem zur Zunge verlaufenden „Trommelfellast" (Chorda tympani) schreibt man auch Geschmacksempfindung und Absonderungsreizung für die Speicheldrüsen zu. Das achte Paar bildet der Gehörnerv (Nervus acusticus). Das neunte Paar, der Geschmacksnerv oder Zungen-Schlundkopfnerv (Nervus glossopharyngeus), ist ein gemischter Nerv, seine Bewegungsfasern gehen zu Muskeln des Gaumens und Schlundes, er scheint aber auch das Gefühl in den hinteren Abschnitten der Zunge zu vermitteln und ist jedenfalls wenigstens der hauptsächlichste Geschmacksnerv; doch werden auch den Zungenästen des Trigeminus und Facialis Geschmacksempfindungsvermögen zugeschrieben. Das zehnte Paar ist der Vagus, der herumschweifende Nerv oder Lungen-Magennerv (Nervus vagus). Beide Bezeichnungen beziehen sich auf das weite Verbreitungsgebiet dieses Nervs, außer zur Lunge, Magen und einem Teile des Darmes gehen seine Fasern auch zu den Anfangsteilen der Atem- und Verdauungsröhren, deren Muskeln und Schleimhäute (motorisch und sensibel) versorgt werden. Besonders interessant ist die oben ausführlich besprochene Wirkung des Vagus auf das Herz. Der Vagus ist der regulatorische oder Hemmungsnerv für die Herzbewegung. Einer seiner Zweige (Nervus depressor) setzt die Widerstände in der Blutbahn herab durch zentripetal geleitete Reizungsübertragung auf die Gefäßnerven. Der Vagus ist aber auch der regulierende Nerv für die Atembewegungen und zwar durch reflektorische Beziehungen. Er ist der Ernährungsnerv der Lunge. Störungen seiner Thätigkeit sind von Störungen in der Verdauung begleitet, er soll Hunger und Durst veranlassen, auch die Speichelsekretion vom Magen aus anregen; die Bauchspeichelsekretion soll er hemmen, dagegen die Nierenausscheidung und die Zuckerbildung in der Leber anregen. Das elfte Paar, der Beinerv (Nervus accessorius Willisii oder recurrens), wird vielfach nur als „motorische Wurzel" des Vagus betrachtet. Er verläuft zu einigen Hals- und Nackenmuskeln, Kehlkopfmuskeln. Das zwölfte Paar, der Zungenfleischnerv (Nervus hypoglossus), ist wesentlich Bewegungsnerv für alle Zungenmuskeln und einige Halsmuskeln; auch Empfindungsfasern werden ihm zugeschrieben, einer seiner Zweige verläuft auch zum Herzen.

Sehr symmetrisch erscheinen in Anordnung und Verlauf die 31 (selten 32) Paare der Rückenmarksnerven. Man teilt sie ein in 8 Halsnerven, 12 Brustnerven, 5 Lendennerven, 5 Kreuzbeinnerven und 1 oder 2 Steißbeinnerven. Jeder Rückenmarksnerv nimmt seinen Ursprung aus dem Rückenmark mit zwei Wurzeln (s. die Tafel „Das Gehirn des Menschen"), einer vorderen und einer hinteren. Mit Ausnahme der zwei oberen Halsnerven ist die hintere Wurzel stärker als die vordere, sie setzen sich zusammen aus mehreren gesonderten platten Faserbündeln, welche aus den seitlichen Rinnen der Rückenmarksoberfläche hervortreten, also den Seitenstrang des Rückenmarks umfassen. Jeder Rückenmarksnerv tritt durch eins der Zwischenwirbellöcher aus dem Rückgratskanal aus, nach dem betreffenden Zwischenwirbelloch

konvergieren zunächst die beiden Nervenwurzeln, verschmelzen aber erst nach ihrem Austritt zu einem einfachen, rundlichen Nervenstamm. Jede hintere Wurzel schwillt noch im Zwischenwirbelloch zu einem Nervenknötchen (Ganglion intervertebrale) an. Jenseit dieses Nervenknötchens tritt die Vereinigung der Wurzeln zu dem gemeinsamen Nervenstamm ein, dessen Fasern in der Weise angeordnet sind, daß seine Verzweigungen Nervenfasern aus beiden Wurzeln enthalten, die in ihrer Thätigkeitsaufgabe ganz verschieden sind. Im Jahre 1814 entdeckte der Engländer Ch. Bell, daß bei jedem Rückenmarksnervenstamm die vordere Wurzel der Bewegung, die hintere der Empfindung dient. Man nennt diese Thatsache, auf welche wir schon oben bei den Gehirnnerven mehrfach anspielen mußten, das Bellsche Gesetz. Von den hinteren Nervenwurzeln biegen aber nahe der Vereinigungsstelle einige rückläufige, sensible Fasern auf die vorderen Wurzeln über und laufen zum Rückenmark zurück.

Im allgemeinen gilt von der Verbreitung der Rückenmarksnerven folgendes: Es reicht der Verbreitungsbezirk eines einzelnen Rückenmarksnerven nicht über die Mittellinie des Körpers hinaus (bewiesen durch die halbseitigen Lähmungen). Jeder Muskel und jedes Hautstück erhalten, wie es scheint, Nervenfäden von verschiedenen Nervenwurzeln (bewiesen durch die Halblähmungen, d. h. die Lähmung eines Rückenmarksnerven bedingt nicht mit Notwendigkeit eine vollkommene Bewegungs- und Empfindungslähmung der von ihm versorgten Teile). Weiter gilt ziemlich allseitig das Verbreitungsgesetz, daß die sensibeln Fasern eines Rückenmarksnerven sich an der Hautstelle verbreiten, welche über den Muskeln liegt, die von den motorischen Fasern derselben Nerven versorgt werden. Die Verbreitungsbezirke der einzelnen Rückenmarksnerven und die Namen ihrer Hauptäste und Zweige gibt uns die Tafel „Das Gehirn, Rückenmark und Rückenmarksnerven", S. 532. In Beziehung auf die Anatomie und Physiologie des Sympathicus und seinen Zusammenhang mit den Gehirn-Rückenmarksnerven muß hier auf das in der Einleitung und bei der Beschreibung der einzelnen vom Gangliennervensystem beeinflußten Organe und Organgruppen Gesagte hingewiesen werden.

Die Reflexe.

Jeder Gehirn-Rückenmarksnerv steht in direkter oder indirekter Verbindung mit dem Gehirn; in diesem laufen alle die zahllosen Bahnen zusammen, auf welchen vom Gehirn aus willkürliche (motorische) Bewegungsantriebe nach der Peripherie geleitet oder von dem Gehirn bewußte Empfindungen wie Depeschen von der Peripherie her aufgenommen werden. In dem Gehirn sind offenbar die Organe lokalisiert gegeben für die Aufnahme der sensibeln und für die Abgabe der motorischen Bewegungen.

Das erste, was wir über die Lokalisierung der Funktionen im Gehirn-Rückenmarkssystem aussagen können, ist das, daß nur ein relativ kleiner Abschnitt und zwar, wie wir bis jetzt anzunehmen berechtigt sind, lediglich die graue Rinde der Hemisphären der Großhirnoberfläche mit den „bewußten" Empfindungen und Bewegungen etwas zu thun hat, während alle die anderen Abschnitte des Gehirn-Rückenmarks nur als Zentren für „unbewußte" sensible und motorische Bewegungen und als Zwischenleitungspartien zwischen diesen Zentren und der Großhirnrinde thätig sind. Der ganze komplizierte Apparat unseres Körpers kann vollkommen ohne Einfluß des Willens und der bewußten Empfindung alle die äußeren und inneren Bewegungen rein maschinenmäßig ausführen, welche wir sonst von Willen und Empfindung begleitet sehen. Es gibt mehrfach Körperzustände, schon der gewöhnliche traumlose Schlaf ist ein solcher, in welchen die Thätigkeit der Hirnrinde ausgeschlossen ist und der Körper lediglich

als Maschine arbeitet; noch klarer ist das Verhältnis, wenn man bei Tieren die Großhirnrinde (großenteils) entfernt, so daß sie zweifellos nicht mehr thätig sein kann.

Abgesehen von der Großhirnrinde, erscheint uns der menschliche Körper und der der Wirbeltiere lediglich als eine Reflexmaschine. Wir haben schon in der Einleitung auf diese merkwürdigen Erscheinungen der Reflexe hingewiesen, in ihrer einfachsten Gestalt haben wir sie auch wieder bei der Beschreibung der Ganglienzellen zu erwähnen gehabt, da man bisher mit großer Übereinstimmung in den Ganglienzellen die Übertragungszentren für die Reflexe sucht. Sicher ist, daß in irgend einer Weise im Rückenmark und Gehirn physiologische, doch wohl auf anatomischer Basis beruhende Verbindungen zwischen zentripetal leitenden, sensibeln oder, wie man fälschlich sagt, Empfindungsfasern und zwischen zentrifugal leitenden, motorischen oder Bewegungsfasern existieren, in der Art, daß ein von den ersteren zentripetal von der Peripherie her geleiteter Erregungszustand auf die zweite Fasergruppe übergehen und von dieser dann zentrifugal zur Peripherie zurückgeleitet werden kann. Nach der alten Lehre des Cartesius war, wie wir hörten, das Gehirn selbst das Reflexzentralorgan, die Mikroskopie hat diese Vorstellungen ins Kleine übersetzt und uns die Ganglienzellen als elementare Reflexzentren dargeboten.

Schematisch, wobei wir von dem wahrscheinlich dazu notwendigen inneren Zusammenhang mehrerer Ganglienzellen absehen, gestaltet sich die Ansicht über diese elementaren Reflexzentren, die Ganglienzellen, sehr einfach. Einer der mit der Ganglienzelle zusammenhängenden Fortsätze (elementare Nervenfaser) leitet, wie man bis in die jüngste Zeit unbeanstandet annahm, als sensible Faser zentripetal von der Peripherie, d. h. vom Sinnesorgan, das durch äußere Anstöße erregt wird, den Reizzustand der Ganglienzelle zu, dadurch wird in dieser selbst ein Reizzustand ausgelöst und sie überträgt dann diesen auf alle von ihr ausgehenden Fasern und damit auch auf eine zentrifugal zur Körperperipherie leitende motorische oder Bewegungsfaser. War das erregte Sinnesorgan ein Tastkörperchen in der Haut, so kehrt der von dort aus der Ganglienzelle zugeleitete Erregungszustand, da sich, wie wir eben hörten, die sensibeln Fasern eines Rückenmarksnerven meist an der Hautstelle verbreiten, welche über jenen Muskeln liegt, die von den motorischen Fasern derselben Nerven versorgt werden, zu einem Muskel, der unter der gereizten Hautstelle liegt, zurück und veranlaßt in diesem eine Muskelbewegung. Es läßt sich nun mit aller Bestimmtheit nachweisen, daß diese Reflexübertragung für die Rückenmarksnerven im wesentlichen im Rückenmark selbst gelegen ist. Bringen wir, was bei kaltblütigen Wirbeltieren durch Abtrennung des verlängerten Marks und Gehirns leicht ausgeführt werden kann, diese beiden „höheren" nervösen Zentralorgane ganz aus dem Spiele, so werden also auf rein reflektorischem Wege auf verschiedene sensible Reize der Haut noch sehr verschiedene motorische Effekte an dem Rumpfe hervorgebracht werden können. Reizen wir in diesem Falle eine Hautstelle mechanisch oder auf irgend eine andere Weise, so kommen, solange das Rückenmark noch ungestört thätig ist, zunächst Bewegungen von Muskeln zu stande, welche der gereizten Hautstelle nachbarlich untergelagert sind. Sowie wir das Rückenmark zerstören, bleiben, obwohl wir leicht im stande sind, das fortdauernde „Leben", d. h. die Erregbarkeit der sensibeln und motorischen Fasern, objektiv nachzuweisen, die Reflexbewegungen aus, zum Beweise, daß der Zusammenhang der beiden Fasergattungen im Rückenmark stattfindet. Das Rückenmark ist also ein „unteres" Reflexzentralorgan für die, solange das Gehirn noch normal mit ihnen verbunden und thätig ist, im wachen Zustande mit Bewußtsein und Willen erfolgenden sensibeln und motorischen Thätigkeiten der Haut und der Rumpfmuskulatur. In diesem Reflexzentralorgan, dem Rückenmark, existieren nun aber allseitige nervöse Leitungsverbindungen für die eben genannten Organe. Es wird das dadurch bewiesen, daß von jeder beliebigen Hautstelle aus durch Steigerung der Reizstärke alle noch funktionsfähigen Muskeln des ganzen Rumpfes in Thätigkeit versetzt werden können. Lassen wir den Reiz zuerst

schwach, z. B. auf den Fuß eines enthaupteten Froschrumpfes einwirken, so kommt zuerst der betreffende Fuß, dann das ganze Bein in Reflexbewegung. Bei Steigerung der Reizstärke breitet sich die Erregung zunächst auf die Muskeln derselben Rumpfseite und erst bei noch weiterer Steigerung auch auf die der gegenüberliegenden Seite aus. Die elementaren Reflexzentren des Rückenmarks hängen also physiologisch und daher wohl auch anatomisch miteinander zusammen, und zwar kann die Erregung sich leichter in der Längsrichtung (derselben Körperhälfte) als in der Querrichtung (auf die andere Körperhälfte übergehend) im Rückenmark verbreiten.

Diese Reflexbewegungen eines Froschrumpfes sind äußerst charakteristisch und regelmäßig und in gewissem Sinne zweckmäßig. Sie sind bei schwächeren Reizen meist auf Entfernung der gereizten Hautstelle aus dem Bereich des einwirkenden Reizes und bei stärkeren Reizen auf Entfernung des „Reizes" selbst von der gereizten Hautstelle gerichtet: das gereizte Bein wird zunächst zurückgezogen; dauert der Reiz an und verstärkt sich, so werden mit den nun ebenfalls in Thätigkeit kommenden anderen Gliedern Bewegungen zum Abstoßen oder Abwischen des reizenden Gegenstandes ausgeführt. Bestreichen wir in der Mittellinie des Froschrumpfes die Haut z. B. mit Essigsäure auf eine längere Strecke, so treten erst zuckende Bewegungen der Glieder ein, dann werden diese der gereizten Stelle genähert und an dieser selbst lebhafte Wischbewegungen zur Entfernung des Reizes ausgeführt. Im Frühling ist bei Froschmännchen die Brusthaut besonders empfindlich. Ein leichtes Reiben mit dem Finger an dieser Stelle bringt krampfhafte Kontraktionen der ganzen Armmuskulatur hervor, wobei, da bei den Froschmännchen die Beugemuskeln der Arme an Stärke die Streckmuskeln, ihre Antagonisten, bedeutend überwiegen, die Arme krampfhaft um den reibenden Finger, diesen ringförmig umklammernd, in derselben Weise geschlossen werden, wie das Männchen das Weibchen zu umfassen pflegt. Bei dem Froschweibchen bringt die allgemeine Kontraktion der Armmuskeln, da bei ihm die Streckmuskeln, wie das bei allen Fröschen an den hinteren Extremitäten der Fall ist, die Beugemuskeln an Stärke übertreffen, ein seitliches Ausstrecken der Arme zuwege.

Der Rumpf des enthaupteten Frosches führt also rein maschinenmäßig noch zahlreiche geordnete Einzelbewegungen auf äußere Reize aus, welche bei dem gesunden, wachen Tiere willkürlich erscheinen. Ganz erstaunlich werden diese geordneten Bewegungen, wenn der Schnitt durch das Zentralnervensystem etwas höher geführt wird, so daß auch noch das verlängerte Mark mit dem Rumpfe in Verbindung bleibt. Dann bleibt dem Rumpfe auch noch die Fähigkeit zu geordneten Gesamtkörperbewegungen: er vermag sich im ganzen durch Hüpfen aus der Nähe des Reizes zu entfernen, er vermag das Gleichgewicht der Körperteile, störende und dadurch als Reize wirkende Körperstellungen zu korrigieren. Jeder Mensch weiß, daß auch bei uns diese Korrektur des Körpergleichgewichts, z. B. bei schon halb eingeleitetem Fallen, auch im Wachen zunächst unwillkürlich und daher meist auch unüberlegt eingeleitet wird.

Bei höheren Wirbeltieren, namentlich Tauben, welche diese Eingriffe vergleichsweise leicht ertragen und lange überleben, hat man diese an sich grausamen, aber für die Erforschung des Seelenlebens unentbehrlichen Versuche in der Weise ausgeführt, daß man die oberen Abschnitte der Großhirnhemisphäre etwa bis zum Balken abgetragen und damit von der grauen Großhirnrinde möglichst viel entfernt hat. Hier stellen sich nun die wunderbarsten Erscheinungen dar. Das „enthirnte" Tier kann nicht nur von der Haut aus, sondern auch noch von den höheren Sinnesorganen (Ohr, Auge) erregt werden. Es führt zahlreiche geordnete Einzel- und Gesamtbewegungen aus, welche uns lehren, daß die Gesamtheit der sensibeln Reize und der daraus folgenden Bewegungen, deren der höhere animale Organismus fähig ist, noch erfolgen kann, aber einfach unwillkürlich, reflektorisch, maschinenmäßig, auch wenn die Großhirnrinde außer Thätigkeit ist. Bestimmte sensible Reize bringen dann regelmäßig unabänderlich die gleichen Bewegungen hervor, da der Wille,

der sonst die Regelmäßigkeit dieser Bewegungen modifiziert, ausgeschlossen ist. Nur ein Beispiel für viele, welche ich Gelegenheit hatte bei von Bischoff, der solche Experimente mit sicherem Erfolg auszuführen verstand, zu beobachten. Eine vor längerer Zeit „enthirnte", wieder vollkommen körperlich erholte Taube war neben einer anderen normalen Taube so aufgestellt, daß beider Köpfe vom Experimentator abgewendet waren. Nun klingelte von Bischoff laut, beide Tauben drehten den Kopf nach dem Geräusche um. Nachdem sie ihre ursprüngliche Stellung wieder eingenommen hatten, ertönte die Glocke von neuem, die gesunde Taube wurde unruhig, drehte aber den Kopf nicht mehr und flog, als zum drittenmal die Glocke ertönte, weg. Die enthirnte Taube verhielt sich aber ganz wie bei dem ersten Erklingen der Glocke, sie drehte wieder den Kopf dem Schalle zu und that das unabänderlich jedesmal, so oft geläutet wurde. Bei ihren unsteten Wanderungen auf dem Zimmerboden, die sie oft ausführte, stieß sie gelegentlich an eine für ein spielendes junges Kätzchen aufgehängte Fadenrolle. Die „enthirnte Taube", welche auch sonst zweifellose Gesichtseindrücke zeigte, pickte nach der letzteren und brachte sie dadurch in Bewegung, so daß die zurückschwingende Fadenrolle den Schnabel berührte. Nun pickte die Taube wieder nach derselben und setzte dieses Spiel so lange ununterbrochen fort, bis sie weggenommen wurde.

Bei dem Menschen kommen entsprechende Zustände des Ausschlusses der Großhirnrinde, wie oben angedeutet, im natürlichen Schlafe oder in Narkosezuständen vor. Auch der Mensch erscheint dann, bei Ausschluß des Willens und des Bewußtseins, als eine einfache Reflexmaschine, die z. B. im „Schlafwandeln" alle Bewegungen des wachen Lebens auszuführen vermag.

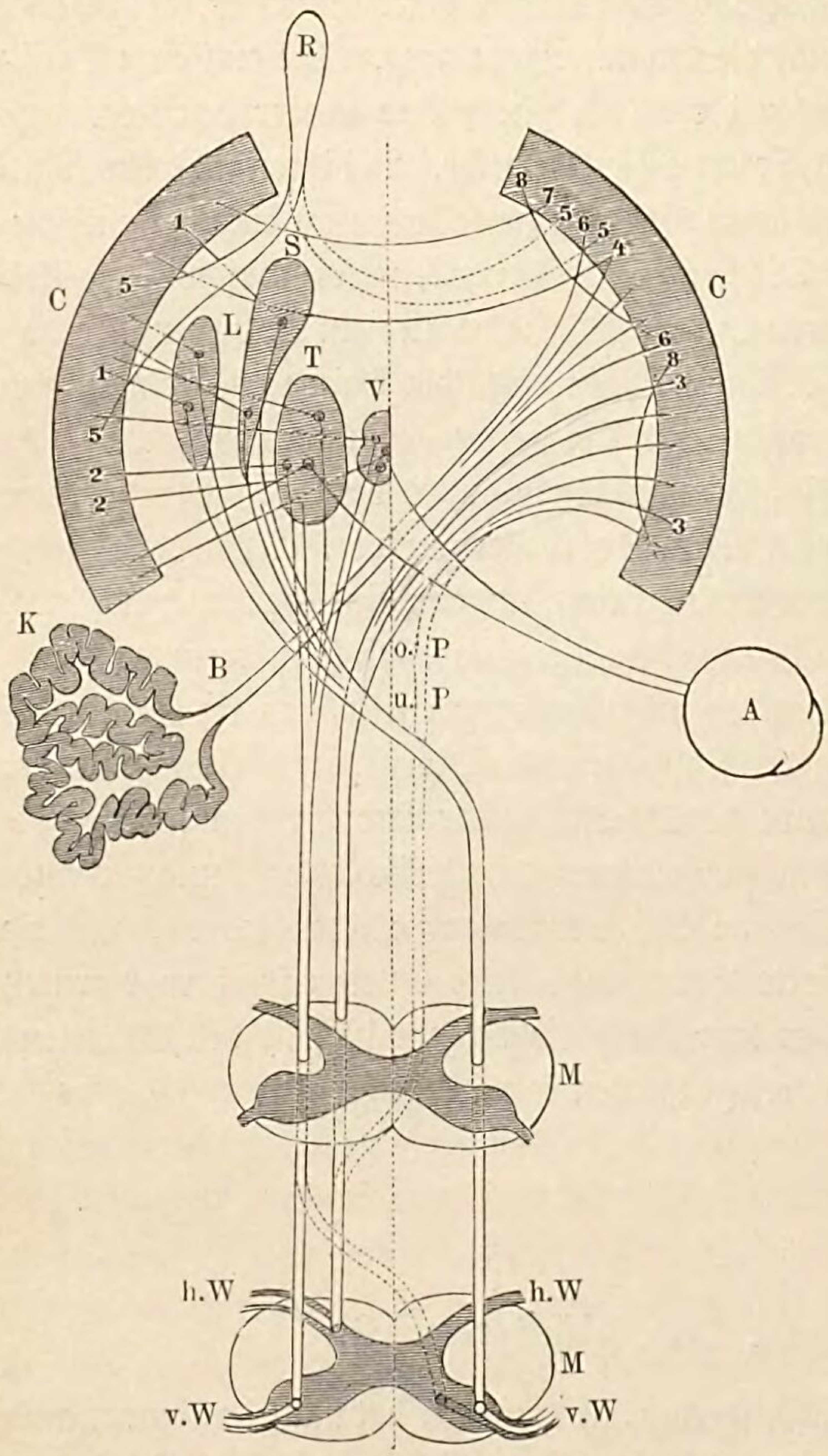
Wir können sonach, schon nach diesen Thatsachen, nicht daran zweifeln, daß im Gehirn der Wirbeltiere und des Menschen eine Lokalisierung der sensibeln und motorischen Funktionen in der Art existiert, daß von nicht in der grauen Rinde der Oberfläche der Großhirnhemisphären gelegenen Stellen aus alle überhaupt möglichen Bewegungen rein reflektorisch erzeugt und zur Ausführung gebracht werden können. Die Experimente an „enthirnten" Tieren lehren, daß die höheren Sinnesorgane außerordentlich komplizierte Bewegungseffekte reflektorisch hervorzurufen vermögen, so daß der Anschein des Willkürlichen nur durch die Regelmäßigkeit des Eintretens bestimmter Bewegungen auf bestimmte Reize widerlegt werden kann.

Faserverlauf im Gehirn und Rückenmark.

Von solchen Experimenten, wie die eben geschilderten, ausgehend, hat man begonnen, auch anatomisch und mikroskopisch die nervösen Leitungsbahnen im Rückenmark und Gehirn zu studieren. Es genügt nach dem Gesagten und für die hier verfolgten Zwecke, eine schematische Übersicht über die bisher gewonnenen Anschauungen (das Wort „Resultate" würde zu viel behaupten) zu geben (s. Abbildung, S. 540).

Zwischen Rückenmark und Gehirn ist der Nervenfaserverlauf im allgemeinen ein gekreuzter, in der Weise, daß die auf der rechten Seite des Rückenmarks aufwärts dem Gehirn zu ziehenden Fasern zur linken Gehirnhälfte und umgekehrt die links im Rückenmark aufsteigenden Fasern zur rechten Gehirnhälfte gelangen. Aber auch innerhalb des Rückenmarks sahen wir oben noch ähnliche Kreuzungen, Herübertreten von Fasern von der einen zur anderen Seite, erfolgen. Denken wir uns schematisch den Verlauf der Hauptfasern einer Rückenmarksganglienzelle. Von der Zelle treten zwei Fasern horizontal ab, von denen die eine, die motorische, durch die vorderen Wurzeln austritt, die andere, die sensible, durch die hinteren Wurzeln eintritt; andere im wesentlichen auch horizontal verlaufende Fasern stellen eine Verbindung mit Ganglienzellen der gleichen

und der anderen Rückenmarkshälfte her, welche durch solche und senkrecht aufsteigende Verbindungsfasern zu einer Einheit verknüpft sind. Von unserer Ganglienzelle erheben sich aber auch senkrecht zwei Fasern zum Gehirn und zwar die eine, die motorische, um dort in Verbindung mit einer Ganglienzelle der um die Hirnhöhlen gelagerten Massen grauer Gehirnsubstanz (Höhlengrau nach Meynert) der entgegengesetzten Körperseite (Faserkreuzung) zu treten. Diese letztere Ganglienzelle setzt sich durch horizontal leitende Fasern mit den übrigen Ganglienzellen des „Höhlengrau" teils direkt, teils indirekt (durch Vermittelung anderer Zellen) in Verbindung und sendet eine oder mehrere Fasern zu einer Ganglienzelle der grauen Großhirnrinde, deren Ganglienzellen untereinander wieder eine durch Faserverknüpfung hergestellte Einheit bilden. Die zweite, die sensible Faser, steigt direkt zu einer Ganglienzelle der Großhirnrinde empor.



Schema der Nervenfaserzüge, welche in die Großhirnrinde einlaufen. A) Auge, K) Kleinhirn, C) Großhirnrinde, R) Riechkolben, MM) Querschnitte durch das Rückenmark. Die übrige Beschreibung s. unten im Text.

Nach der Darstellung Meynerts und Exners bildet die Gehirnrinde einen Mantel grauer Substanz, welcher die radiär aus dem Gehirnstamme ausstrahlenden Fasern der weißen Gehirnsubstanz einhüllt und in sich aufnimmt. Sie enthält sämtliche Enden, beziehungsweise Anfänge jener Markfasern. Exner stellt die Angaben Meynerts in folgendem Schema dar (s. nebenstehende Abbild.).

Die motorischen „Stabkranzfasern" (1,1 und 2,2) strahlen nach den vier großen Gehirnganglien: Sehhügel T, Vierhügel V, Streifenhügel S und Linsenkern L von der Hirnrinde heraus. Diese Fasern zerfallen ihrer Herkunft und physiologischen Bedeutung nach in zwei Gruppen. Die erste Gruppe (2,2) besteht aus den dem Sehhügel T und den Vierhügeln V angehörenden Fasern, sie verlaufen, nachdem sie diese Ganglien (Anhäufungen von Ganglienzellen) passiert haben, in der Haube des Hirnschenkels, d. h. in dessen oberem stärkeren Längsfaserbündel, das von dem breiten, aber dünnen unteren Längsfaserbündel (dem Hirnschenkelfuß) durch die Substantia nigra getrennt wird, nach abwärts, beteiligen sich nicht an der Pyramidenkreuzung, kreuzen sich aber wahrscheinlich weiter unten im Rückenmark. Sie treten in die graue Substanz desselben ein, erleiden auch hier ihre zentralen Umwandlungen, d. h. treten in verschiedenartige Verbindung mit Ganglienzellen, und verlassen dann diese wieder, um mit den vorderen Wurzeln (v. W, v. W) aus dem Rückenmark auszutreten. Es stellen diese Fasern die Bahnen für die unwillkürlichen Bewegungen dar. Die zweite Gruppe (1,1) gehört dem Streifenhügel S und Linsenkern L an. Die Fasern derselben verlaufen, nachdem sie diese Ganglien unter entsprechender zentraler Veränderung (Verbindung mit Ganglienzellen) durchsetzt, im Fuße des Hirnschenkels, bilden

dann die untere Pyramidenkreuzung (u. P), treten ebenfalls in die graue Substanz des Rückenmarks ein und verlassen dieselbe wieder, um auch als motorische Fasern mit den vorderen Wurzeln aus dem Rückenmark auszutreten. Es sind dies die Bahnen für die willkürlichen Bewegungen. Die dritte Gruppe (3, 3) bilden Empfindungsfasern. Von der Hirnrinde treten durch den „Stabkranz“ viel mehr Fasern in die Stammganglien ein, als aus diesen durch die Hirnschenkel (Pedunculi) austreten. Meynert deutet das so, daß in den Ganglien eine Reduktion der Anzahl der Fasern stattfindet; dagegen gelangen durch die Medulla oblongata weniger Fasern in das Rückenmark, als durch die Nervenwurzeln dasselbe verlassen, zum Beweise, daß in der grauen Substanz des Rückenmarks eine Vermehrung der Fasern statthat. Früher war man der Meinung, daß vom Rückenmark zum Gehirn eine regelmäßige Zunahme der Faseranzahl stattfinde. Ein analoges Verhalten wie die Rückenmarksnerven zeigen im allgemeinen die motorischen „Gehirnnerven“, für welche die zentrale Fortsetzung der grauen Substanz des Rückenmarks dieselbe Bedeutung hat wie diese graue Substanz selbst für die Rückenmarksnerven.

Die durch die hinteren Nervenwurzeln (h. W, h. W) in das Rückenmark eintretenden sensibeln Bahnen (d. h. Fasern) erfahren eine erste Endigung in der grauen Substanz desselben, kreuzen sich früher oder später zum Teil in der oberen Pyramidenkreuzung (o. P) und strahlen dann, zum Teil ohne in eins der großen Gehirnganglien überzugehen, nach der Rinde aus. Auch hier zeigen die sensibeln Gehirnnerven ein Verhalten, das den sensibeln Rückenmarksnerven entspricht. Ferner treten die Fasern aus dem Riechkolben (Tractus olfactorius), zum Teil ohne auf die andere Seite zu treten, zur grauen Gehirnrinde (5, 5), ebenso Fasern aus dem Sehnervenstamm (Tractus opticus), nachdem sie teils den Sehhügel, teils die Kniehöcker (Corpora geniculata), teils die vorderen Vierhügel (4, 4) passiert haben. Einen direkten oder indirekten Eintritt von Hörnervenfasern in die graue Hirnrinde kennt man noch nicht sicher. Außerdem verlaufen Fasern aus dem Kleinhirn durch den Bindearm (B, Brückenarm des kleinen Gehirns) gekreuzt nach der Rinde des großen Gehirns (6, 6), dann die Fasern der Kommissuren, deren größte der Balken ist (7), welcher symmetrisch gelegene Partien der Rinde beider Seiten miteinander verknüpft, und endlich die Bogenfasern, welche unter der grauen Großhirnrinde verlaufen und Rindenstellen einer und derselben Seite miteinander verbinden (8, 8).

Es ist hier nicht der Ort, weiter auf die näheren Einzelheiten der Faserung, über die jeder Tag neue Mitteilungen bringt, oder auf die noch vielfach unter den Forschern bestehenden Differenzen in der Deutung der Präparate einzugehen. Für uns ist hier das Wichtigste, daß, wenn wir die graue Rinde der Oberfläche der Großhirnhemisphären wegnehmen, die motorischen und reflektorischen Zentren in den Ganglienzellenanhäufungen des Gehirninnern (in den Gehirnganglien, Höhlengrau) und in der grauen Substanz des Rückenmarks noch ungestört zurückbleiben, mit anderen Worten, daß dann noch der automatische Apparat des Gehirns bleibt. Das Gehirn besteht also aus einem automatisch-maschinenmäßig arbeitenden Apparat: dem Rückenmark und den Gehirnganglien mit den vom ersteren zu diesen verlaufenden Fasern und den Zwischenfasern zwischen ihren Ganglienzellen, und aus einem den höheren psychischen Funktionen dienenden Apparat: der grauen Rinde des großen Gehirns und den diese mit den Gehirnganglien und zum Teil direkt mit dem Rückenmark verbindenden Faserzügen, von denen die ersteren als „Stabkranzfasern“ bezeichnet werden.

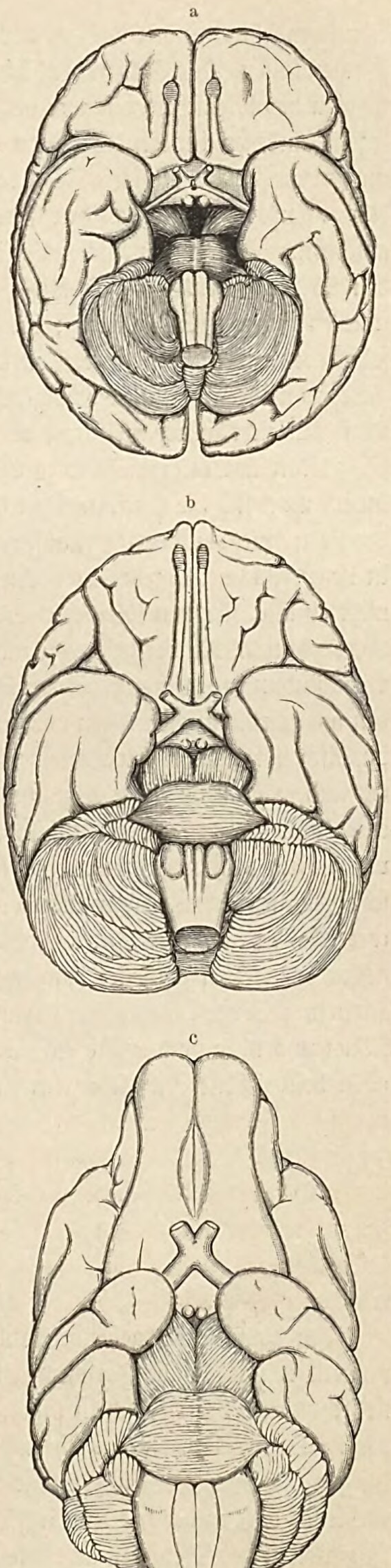
Menschen- und Tiergehirn.

Mit den soeben gewonnenen Erfahrungen wird uns nicht nur der Wert der einzelnen Hirnteile des Menschen klarer, sie erhellen auch zum Teil die Unterschiede zwischen dem Gehirn des Menschen und dem Gehirn der Wirbeltiere. Jeder Körper eines Wirbeltieres hat, den Anforderungen seiner Glieder und Sinne entsprechend, den Ausbau des „automatischen Apparates des Gehirns" nötig. Vergleichen wir das Gehirn irgend eines Säugetieres, z. B. eines Bären, mit dem des Menschen, so finden wir der Körpergröße entsprechend diesen automatischen Apparat des Gehirns entwickelt. Er ist bei den den Menschen an Körpergröße übertreffenden Tieren entsprechend mächtiger ausgebildet als bei diesem. Das gilt auch für die dem Menschen zunächst stehenden Affen, obwohl deren Gehirn im ganzen weit kleiner ist als das des Menschen. Was dem Tiergehirn im Verhältnis zum Menschengehirn mangelt, oder besser, was bei ersterem geringer entwickelt ist, ist die graue Rinde des Großhirns mit den in direkter Verbindung mit dieser stehenden Fasersystemen, welche wesentlich die Masse der Großhirnhemisphären bilden.

Eine oberflächliche Betrachtung könnte in der äußeren Erscheinung des Gehirns des Orang-Utan, Schimpanse und Gorilla eine nähere Ähnlichkeit mit dem Gehirn eines neugeborenen Kindes erblicken wollen, da die gesamte Gehirnmasse beider und die einfacheren Windungen der Großhirnoberfläche sich verhältnismäßig weniger unterscheiden, als wenn wir das Gehirn der menschenähnlichen Affen mit dem des erwachsenen Menschen vergleichen. Aber vergleichen wir das kleine Gehirn, die Brücke mit den Brückenarmen, das verlängerte Mark und das Rückenmark, in welchen Organen sich die Größenentwickelung des automatischen Gehirnapparats ausspricht, so schwindet dieser Wahn des ersten Eindrucks (s. Abbildungen, S. 543). Beim neugeborenen Menschen ist das Übergewicht des großen Gehirns über die automatischen Gehirnpartien sogar in höherem Maße vorhanden als bei dem erwachsenen. Dagegen ist im Gehirn des erwachsenen Gorilla, seinem mächtigen Körper entsprechend, der automatische Apparat größer, voluminöser entwickelt als bei dem erwachsenen Menschen. Mit Beachtung der verschiedenen Körpergröße gilt das Gleiche für die Gehirne des Orang-Utan und Schimpanse. Der Mangel, den wir am Affengehirn so entschieden ausgesprochen sehen, bezieht sich also lediglich auf das große Gehirn, das in seiner „menschlichen" Entwickelung tief unter der des neugeborenen Kindes steht. Bei anderen, auch bei den psychisch höchstbegabten Säugetieren, ist dieses Verhältnis zwischen der Entwickelung der automatischen Gehirnpartien und der Hemisphären des großen Gehirns äußerlich noch auffallender. An dem Gehirn des Elefanten, des klügsten Tieres, scheinen auf den ersten Blick jene Teile des großen Gehirns ganz zu fehlen, welche bei dem Menschen und bei den menschenähnlichen Affen die äußeren automatischen Gehirnpartien überlagern. Die letzteren selbst lassen dagegen die beinahe monströse Entwickelung erkennen, welche wir für die Bewegung einer solchen kolossalen tierischen Maschine voraussetzen dürfen.

Daraus ergibt sich sofort, daß eine vergleichende Bestimmung des Volumens oder Gewichtes des Gehirns an sich, wie man sie bisher vielfach auszuführen pflegte, um die physische Grundlage der Intelligenz der Tiere mit der des Menschen und der Menschen untereinander zu vergleichen, ohne Trennung des automatischen von dem speziell psychischen Abschnitt des Gehirns nur höchst oberflächliche Resultate geben kann. Nicht die Gehirngröße an sich, sondern nur die Größenentwickelung der Großhirnhemisphären, soweit sie nicht selbst dem automatischen Gehirnapparat zugehören, könnte Vergleichspunkte liefern, wobei aber nicht vergessen werden darf, daß auch, wie wir unten näher sehen werden, die nicht automatischen Großhirnteile sehr wesentlich verschiedenen Thätigkeiten vorzustehen haben und zwischen Gehirnsubstanz und Gehirnsubstanz auch qualitativ ein Unterschied bestehen wird und muß. Bisher haben wir für die Vergleichung von

Mensch und Tier nur ganz approximative Schätzungen in Beziehung auf die Größenentwickelung der beiden Hauptgehirnabschnitte, welche aber doch schon schlagend die hier herrschenden Verschiedenheiten der Ausbildung des Großhirns im Verhältnis zu den automatischen Gehirnpartien beweisen. Wir können von den niedrigsten bis zu den höchsten Wirbeltieren eine Art von aufsteigender Stufenfolge der Gehirnausbildung in dieser Beziehung konstatieren. Das große Gehirn tritt bei den niedrigsten ein Gehirn besitzenden Wirbeltieren nur als ein gering ausgebildeter kleiner vorderer Anhang des automatischen Gehirnabschnittes auf. Das niedrigste Wirbeltier, das Lanzettfischchen (Amphioxus lanceolatus), hat, wie wir in der Entwickelungsgeschichte hörten, kein eigentliches Gehirn, letzteres erscheint nach von Kupffer bei ihm gleichsam nur andeutungsweise, so daß man bisher die Zentralnervenmasse nur in einem Rückenmark vereinigt sich denken konnte. Dagegen bildet das Gehirn des Menschen das gegenteilige Extrem, bei dem Menschengehirn erscheint die äußerlich sichtbare automatische Gehirnpartie nur als ein kleiner, relativ fast verschwindender Anhang des großen Gehirns. Meynert, welcher bei seinen Hirnvergleichungen auf Johannes Müller fußt, der als Maßstab für die relative Hirnentwickelung die Hemisphären des Großhirns mit den Vierhügeln vergleicht, zeigte, indem er Durchschnitte durch Menschengehirne in der Höhe der Vierhügel mit entsprechenden Durchschnitten von Säugetiergehirnen verglich, daß im Zusammenhang mit der steigenden Entwickelung der Hemisphären bei dem erwachsenen Menschen die Masse des Fußes des Großhirnschenkels (in welchem, Meynerts hierauf begründeter Ansicht nach, die „willkürlichen" motorischen Bahnen verlaufen) die Masse der Haube des Großhirnschenkels beträchtlich überwiegt, während das umgekehrte Verhältnis für die Säugetiere gilt. Auch bei neugeborenen Menschen ist der Fuß des Hirnschenkels noch relativ schmächtiger entwickelt als bei erwachsenen. Bei den Tieren ist der Hirnschenkelfuß in seiner relativen Größenentwickelung verschieden je nach der größeren oder geringeren Ausbildung der Hemisphären des Großhirns. Die Fasern des Hirnschenkelfußes treten in die Brücke ein, diese wird mit der stärkeren Entwickelung des Fußes höher; von hier gelangen sie in die Pyramiden des verlängerten Marks. Beim Menschen drängen daher die massigen Pyramiden die Oliven, welche bei den Säugetieren hinter den bei ihnen dünnen Pyramiden liegen, zur Seite.



a) Gehirn des neugebornen Menschen, b) des Gorilla, c) des Bären, in annähernd gleicher Größe. Vgl. Text, S. 542.

Man hat vielfach die Meinung vertreten, daß sich das Gehirn des Menschen in seinem Bauprinzip von dem der Tiere unterscheide; man hat bald dieses, bald jenes Organ im

Menschengehirn finden wollen, das den Tiergehirnen fehlen sollte. Diese Ansicht hat sich nicht bestätigen lassen. Das Gehirn der höchsten Affen unterscheidet sich im Bauprinzip ebensowenig von dem Gehirn des Menschen, wie wir prinzipielle Bauunterschiede zwischen den Herzen, den Lungen oder irgend anderen inneren Organen auffinden können. Um es zu wiederholen, der Menschencharakter des Gehirns liegt lediglich in dem hohen Übergewicht des nicht automatisch wirkenden Teiles der Großhirnhemisphären über die automatisch wirkenden Gehirnabschnitte. Bei den menschenähnlichen Affen zeigen sich das relative Gewicht des Großhirns zu den übrigen Hirnteilen, die Tiefe und Zahl seiner Windungen höher ausgebildet als bei irgend welchen anderen Säugetieren; immerhin ist die Kluft zwischen Affe und Mensch, wie gesagt, eine sehr bedeutende. In neuester Zeit hat O. Snell versucht, diese Abhängigkeit des Hirngewichts der Tiere von ihren geistigen Fähigkeiten ziffernmäßig darzustellen, ein Versuch, welcher für die Zukunft vielleicht sichere Resultate verspricht.

Man hat auch die wahre Größe der grauen Großhirnrindenfläche zu bestimmen gesucht, indem man sich die Einfaltungen der Rinde, die sich in der Zahl und Tiefe der Windungen und der sie trennenden „Sulci" ausspricht, wie bei einem Tuche auseinander gezogen und das Ganze in einer Fläche ausgebreitet dachte. Es ergibt aber diese Methode, wie schon oben angedeutet, nicht einmal für den Menschen recht brauchbare Resultate, noch weniger für die Tiere; bei den Wiederkäuern (Rindern), welche nicht durch ihre besondere Intelligenz berühmt sind, sehen wir die Hirnwindungen zahlreich, vielverschlungen und schmal; in letzterer Beziehung gehen jene sogar den menschenähnlichen Affen vor, und bei den niederen Affen, dem Hunde, dem Biber und anderen psychisch höher stehenden Tieren zeigen die Großhirnwindungen eine weit geringere Entwickelung. Es sind ja auch nicht die Windungen, die man eigentlich vergleichen will, sondern die Massenentfaltung der grauen Hirnsubstanz, d. h. doch eigentlich die Zahl der in letzterer gelegenen nervösen elementaren Zentralorgane (Nervenzellen). Da die Dicke der grauen Hirnrinde eine verschiedene ist, so kann daher die Vergleichung ihrer Flächenausdehnung keine sicheren Schlüsse auf ihre Masse gestatten. Henry H. Donaldson fand z. B. an dem Gehirn der in höherem Alter gestorbenen, von frühester Jugend an blinden und taubstummen Laura Bridgman die graue Hirnrinde in der „Sehsphäre" relativ verdünnt, was er als Entwickelungshemmung deutet. Hier fehlen uns aber noch exakte Vergleichungsmethoden, von denen sich aber vielleicht in Zukunft die oben beschriebene chemische zu einer entsprechenden Feinheit wird ausbilden lassen.

Mikrokephalie.

In dem Vorausgehenden haben wir einige der Gründe mitgeteilt, nach welchen die experimentell-physiologische Forschung in der höheren Entwickelung des großen Gehirns die Ursachen sieht, warum der Mensch in psychischer Beziehung so gewaltig auch das höchstbegabte Tier überragt. Dazu gesellen sich noch zahlreiche namentlich der Gehirnpathologie entnommene Beobachtungen, welche in voller Strenge den Satz beweisen, daß wir in den Hemisphären des großen Gehirns, d. h. in der grauen Großhirnrinde, das eigentliche Zentralorgan der höchsten psychischen Fähigkeiten des Menschen anzuerkennen haben. Doppelseitige mangelhafte Ausbildung des Großhirns ist stets, je nach der Größe des Defekts, mit Idiotismus höheren oder niederen Grades verbunden. Treffen Druck, Erkrankung, Zerstörungen, Substanzverluste beide Hemisphären des großen Gehirns, so tritt Verlust des Bewußtseins und der Intelligenz ein.

Die moderne Forschung hat sich besonders energisch mit den sogenannten Mikrokephalen beschäftigt, kleinköpfigen Idioten, bei denen bald mehr, bald weniger die menschlichen Verstandeskräfte mangeln. Bei diesen armseligen Geschöpfen ist der Mangel der Intelligenz mit einer mangelhaften Ausbildung namentlich der Großhirnhemisphären verbunden, die durch verschiedene krankhafte Prozesse, die meist schon während der Entwickelungsperiode vor der Geburt verliefen, beträchtlich in ihrer Größenausbildung zurückgeblieben sind. Das Volk pflegt hier und da diese Unglücklichen mit Affen zu vergleichen, aber vielleicht doch nicht ganz ohne Beziehung zu gewissen wissenschaftlich vertretenen Anschauungen, nach denen diese besondere, kleinköpfige Art von Idioten als „Affenmenschen" bezeichnet wurde, die ein zoologisches Glied zwischen Menschen und Menschenaffen darstellen sollten. Für die letztere Meinung wurde angeführt: affenartige Kleinheit des Gehirns und vor allem mangelhafte Ausbildung der Großhirnhemisphären, ein Mangel, der ja den menschenähnlichen Affen am meisten von dem Menschen unterscheidet. Aber diese Armen mit ihren krankhaft verbildeten Gehirnen, die Mikrokephalen, stehen tief unter dem relativ so begabten Tiere, dem Affen, ja tief unter jedem Tiere. Die Tiere sind im stande, vollkommen für ihre Lebensbedürfnisse zu sorgen, die Mikrokephalen höheren Grades sind in jeder Beziehung auf unser helfendes Mitleid angewiesen, da bei höherer Ausbildung dieses Gehirnleidens nur die niedrigsten Funktionen des animalen Lebens verrichtet werden, so daß sie absolut unfähig sind, sich selbst am Leben zu erhalten. Namentlich fehlt bei Mikrokephalie höheren Grades meist auch die Fähigkeit zur Forterhaltung der Spezies, wodurch an sich schon eine Fortpflanzung dieser „Rasse" ausgeschlossen ist. Der Vergleich des krankhaft verbildeten und durch pathologische Prozesse klein gebliebenen Gehirns der Mikrokephalen mit dem der menschenähnlichen Affen hat keinen höheren wissenschaftlichen Wert, als wenn wir die teilweise krankhaft zerstörte und dadurch klein gewordene oder gebliebene Lunge eines lungenleidenden Menschen mit der normalen kleinen Lunge eines kleineren Säugetieres, etwa eines Hasen, vergleichen wollten.

N. Rüdinger hat sechs mikrokephale Gehirne untersucht, bei welchen sich auffallende Unterschiede in Größe, Gewicht und formeller Bildung ergaben; diese weisen zunächst auf hemmende Ursachen hin, welche je nach der Zeit des Auftretens beim Fötus, nach ihrer Ausdehnung und Intensität die Ausbildung und das Wachstum des ganzen Hirns oder seiner einzelnen Teile mehr oder weniger beeinträchtigten. Daß diese aus dem Fruchtleben stammenden Erkrankungen nicht nur am Gehirn allein, sondern auch am Schädel auftreten können, wird durch die Beschaffenheit einiger Schädel dieser Mikrokephalen bewiesen. „Diese meine Untersuchungsergebnisse der Mikrokephalie, welch letztere nicht nur durch eine, sondern durch mehrfache Ursachen bedingt sein kann, sprechen für die Annahme, daß während des Fruchtlebens pathologische Prozesse die Ausbildung des Großhirns beeinträchtigt haben." (Rüdinger.) Speziell zur Frage der Affenähnlichkeit der Mikrokephalen-Gehirne sagt Rüdinger: „Die vergleichende Prüfung der sechs Gehirne hat ergeben, daß keins derselben bezüglich der formellen Anordnung der Windungen den Gehirnen der niederen oder anthropoiden Affen homolog erscheint. Haben die Gehirne der Kinder Beckers (s. Bd. II) auch annähernd die Größe der Kynokephalen-Gehirne, so besitzen dieselben doch Furchen und Windungen, welche teils einen eigenartigen, teils, wenn auch in variabler Form, den Typus des normalen Menschengehirns an sich tragen. Die Mehrzahl der Gehirne hat den Charakter der Gehirne aus dem 7. bis 8. Entwickelungsmonat. Die Entfaltung der Außenfläche konnte nicht weiter erfolgen." Dabei fanden sich bei anderen noch speziell krankhafte Erscheinungen, das eine hatte den Balken nicht entwickelt und gar keine Rindenfurchung, das zweite zeigte zwar diese reichlich, dagegen war der Balken nur teilweise entwickelt und die Hemisphären in der Ausdehnung der Stirnlappen verschmolzen; bei allen erschien das Rindengrau relativ schwach ausgebildet und die Pia mater und die Plexus choriodei krankhaft verändert, ihre Gefäße verengert.

Es ist noch nicht lange her, daß man auch die Kretins, die meist kropfigen Idioten des Gebirges, welche im Gegensatz zu den Mikrokephalen öfters besonders große und mißgestaltete Köpfe auf verkümmertem, gleichsam kindlichem Körper tragen, für Reste einer eigenen uralten Menschenrasse erklären wollte, welche sich namentlich in abgelegenen, vom Verkehr entfernten Gebirgsthälern erhalten hätten. Virchows Untersuchungen über den Kretinismus in Franken (Würzburger Umgegend) haben diesen krankhaften Zustand auf seine pathologischen Ursachen, die das Individuum oft erst nach der Geburt zu treffen scheinen, zurückgeführt. Aus den Studien über die mit dem Kretinismus verbundenen krankhaften Verbildungen der Schädelform, die wesentlich auf vorzeitigen Verwachsungen von Schädelnähten beruhen, erwuchsen in der Folge Virchows berühmte Untersuchungen „über den Schädelgrund", welche bewiesen, daß auch gewisse besondere Bildungen am Gesichtsskelet (z. B. Prognathismus) oft auf einem direkten ursachlichen Zusammenhang mit vorzeitigen krankhaften Verwachsungen von Knorpelfugen an der Schädelbasis (namentlich der Sphenobasilar-Fuge zwischen Keilbein und Grundteil des Hinterhauptbeines) beruhen. Es können durch krankhafte Prozesse die Schädelformen erzeugt werden, die wir normal in den verschiedenen „Schädeltypen" (Rassenschädeln) auftreten sehen.

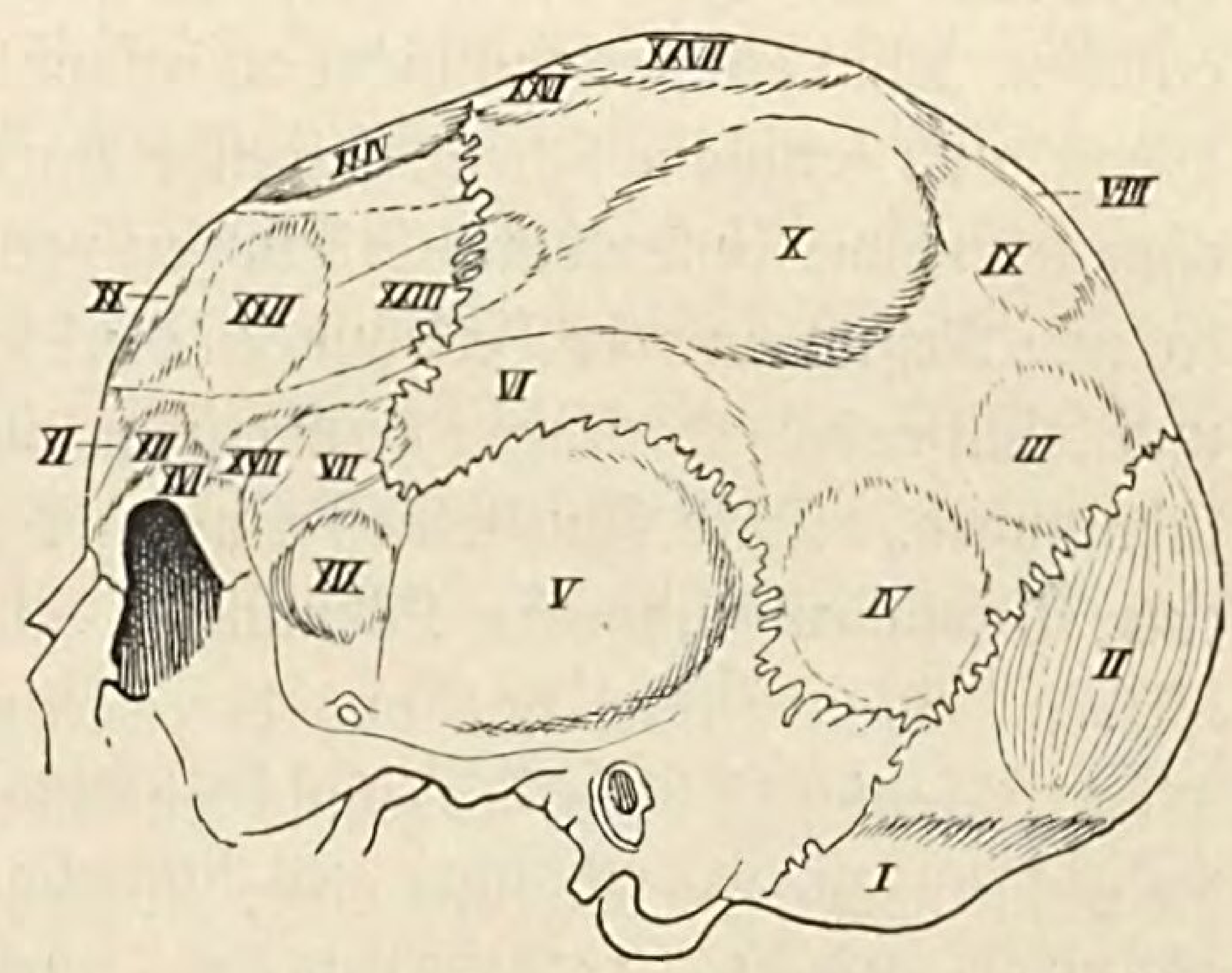
Wichtig erscheint es, daß es auch „partielle Mikrokephalien" gibt, bei denen nur ein oder der andere Teil der Großhirnoberfläche in seiner Entwickelung gestört erscheint. Auf die partielle Mikrokephalie bei ausgesprochener „Schläfenenge", welche sich bei „niedrig stehenden Menschenrassen" noch häufiger findet als bei den Europäern, bei denen sie übrigens in einigen Gegenden auch erschreckend häufig (oft als Folge einer mangelhaften Ernährung in frühester Jugend) auftritt, haben wir schon oben hingewiesen. Ausführlicheres hierüber in Band II.

Lokalisation der grauen Großhirnrinde.

Wir haben bisher die graue Großhirnrinde als Ganzes, dem wir im allgemeinen die höchsten Leistungen des Zentralnervensystems zuschrieben, von dem automatischen Teil des Zentralnervensystems getrennt. Aber sind nicht vielleicht auch die verschiedenen höheren Funktionen des Gehirns in der Großhirnrinde an verschiedenen Orten, gleichsam in bestimmten Großhirnorganen lokalisiert? Dieser Gedankengang war es, welcher einst einen so ausgezeichneten Gehirnanatomen wie Gall zur Aufstellung seiner in den letzten Jahrzehnten vielverlachten Schädellehre (Phrenologie) veranlaßte. Eine besonders starke Entwickelung bestimmter Geisteskräfte sollte einer besonders starken Entwickelung gewisser Oberflächenpartien der Großhirnhemispären entsprechen, letztere sollten sich an den betreffenden Stellen hügelartig vorwölben, und diese Erhebung sollte sich dann auch äußerlich am Schädel als eine umschriebene Hervorwölbung seiner Gehirnkapselwände aussprechen und dadurch am Lebenden dem Auge des Untersuchers oder dem zufühlenden Finger erkennbar werden. Gall erfand zu diesem Zweck eine Anzahl von Geisteskräften und lokalisierte dieselben dann an der Schädeloberfläche durch „Beobachtung" an Lebenden, bei denen er diese Geisteskräfte besonders ausgebildet gefunden zu haben meinte. So kam die Phrenologie durch Gall und seine bewundernden Verehrer, die sich hauptsächlich aus dem nicht exakt anatomisch gebildeten Publikum rekrutierten, zur Aufstellung eines vollkommenen Schemas, von dem die Abbildung S. 547 eine Anschauung geben soll; die Zahlen bedeuten die Geisteskräfte und zwar: I Geschlechtstrieb, II Kindesliebe, III freundschaftliche Anhänglichkeit, IV Lebenserhaltungstrieb, V Mordlust, VI Schlauheit, VII Diebssinn, Gewinnsucht, VIII Hochsinn, IX Eitelkeit, X Umsicht, XI Sachgedächtnis, XII Ortsgedächtnis, (XIII Personengedächtnis, XIV Wortgedächtnis, XV Sprachsinn), XVI Sinn für Malerei, Farbensinn, XVII Musiksinn,

(XVIII Zahlengedächtnis), XIX Sinn für Mechanik, XX vergleichender Scharfsinn, (XXI Tiefsinn), XXII Witz, XXIII dichterisches Talent, XXIV Gutmütigkeit, (XXV Nachahmungstrieb), XXVI religiöser Sinn, Schwärmerei, XXVII Beharrlichkeit. (Die eingeklammerten Nummern sind in der Profilabbildung nicht sichtbar.)

Die Phrenologie war eine Modewissenschaft und gleichzeitig ein Ausfluß der älteren Naturphilosophie. Mit letzterer wurde sie beiseite geworfen und verlacht; die bahnbrechenden ersten Arbeiten von Retzius über die Schädelformen, welche die Grundlage der modernen Kraniologie geworden sind, waren teilweise direkt gegen die Phrenologie gerichtet. Aber jede Mode kehrt wieder, so auch unter neuem Gewande die scheinbar definitiv begrabene Phrenologie. Die oben angeführte Angabe z. B., daß die „linkshirnigen Sprecher" in der linken Schläfengegend den Schädel stärker ausgebaucht zeigen sollen, ist absolut im Sinne von Gall. So hat in diesem und dem letzten Jahrzehnt sich eine neue Phrenologie gebildet, doch mit dem Versuch, ihre Angaben, soweit es geht, durch physiologisches Experiment zu begründen und nicht allein, wie einst Gall, durch den mehr als zweifelhaften Versuch der „Beobachtung" am Lebenden. Durch das Studium der Erfolge pathologischer und experimenteller Hirnläsionen und -Reizungen suchte man die normale Thätigkeit des Großhirns im allgemeinen und die seiner einzelnen Teile festzustellen. Es stehen sich hier aber bis jetzt noch zwei wissenschaftliche Meinungen fast diametral gegenüber, welche sich beide auf Ergebnisse des Experiments und der Beobachtung berufen.



Phrenologischer Kopf. (Nach Gall.) Beschreibung siehe im Text.

Die Mehrzahl der wissenschaftlichen Thatsachen schien bis vor wenigen Jahren dafür zu sprechen, daß jeder Teil der grauen, Ganglienzellen enthaltenden Rindensubstanz des Großhirns in gleichartiger Weise für die Hervorbringung der höheren, psychischen Thätigkeiten funktioniere, so daß lediglich je nach ihrer verschiedenen Größe die einzelnen Gehirnabschnitte sich mehr oder weniger an dem Gesamterfolg beteiligen würden. Man hatte beobachtet, daß eine durch krankhafte Prozesse beim Menschen oder durch das Experiment bei Tieren erfolgte funktionelle Ausschaltung, Abtragung und Entfernung von Großhirnabschnitten nicht ausnahmslos und mit Notwendigkeit bestimmte und dauernde Veränderungen in den höchsten Gehirnthätigkeiten hervorbringe. Es schien, als könnten die nach krankhafter Zerstörung oder nach Abtragung noch vorhandenen unverletzten Hirnteile die Funktion der ausgeschalteten übernehmen. Es wurde konstatiert, daß angeborene oder erst später pathologisch erworbene abnorme Kleinheit einer Großhirnhälfte nicht, wie die doppelseitige, notwendig oder wenigstens nicht dauernd mit Störungen in der motorischen, sensibeln oder psychischen Sphäre verknüpft sei. Vielfach vermißt man solche Störungen namentlich bei langsam ausgebildeten Verlusten oder Erkrankungen größerer oder kleinerer Partien einer Hemisphäre. In Flourens' u. a., namentlich Hertwigs, Experimenten wurde das große Gehirn bei Tieren schnittweise abgetragen, einmal von vorn nach hinten, ein andermal von hinten nach vorn, ein drittes Mal von außen nach innen. Die Operation schien vollkommen wirkungslos zu bleiben, wenn Flourens von einer beliebigen Partie des Großhirns eine geringe Menge von Substanz entfernte; nahm er dagegen an irgend einer Stelle ein größeres Stück fort, so wurden, wie er angab, Bewegungs- und Sinnesthätigkeiten gleichmäßig und bei Wegnahme gleichgroßer Stücke in gleichem Grade geschwächt. Bei einer gewissen Maximalgröße

der entfernten Hirnmasse verschwand mit einemmal der gesamte bis dahin noch bestehende Rest der Großhirnfunktionen. Aber diese Störungen können nach wenigen Tagen wieder verschwinden und die Gesamtheit der Gehirnfunktionen zurückkehren. Man folgerte aus diesen Versuchsergebnissen, daß zwar jede Großhirnfunktion von bestimmten Organteilen abhängig sei, daß aber die Elementarorgane für bestimmte Großhirnleistungen nicht in umschriebenen Bezirken der Großhirnrinde beisammen lägen, sondern durch die ganze graue Großhirnrinde zerstreut seien. Die einer bestimmten Gehirnthätigkeit vorstehenden nervösen Elementarorgane, d. h. die funktionell gleichwertigen Nervenzellen, sollten durch Zwischenfasern im Gehirn miteinander zwar zu einem Ganzen, gleichsam zu einem Gesamtorgan, verbunden sein; aber man glaubte schließen zu müssen, daß wenn nicht alle, so doch verschiedene Hirnteile den verschiedenen Großhirnfunktionen vorstehende nervöse Elementarorgane enthalten. Noch in letzter Zeit hatte ein so ausgezeichneter Forscher wie Goltz sich dieser Anschauung nach eigenen Experimenten rückhaltlos angeschlossen.

In neuester Zeit hat sich nun aber wieder lebhafter Widerspruch gegen diese scheinbar so fest begründete Annahme der psychophysischen Gleichwertigkeit der gesamten grauen Großhirnrinde erhoben. Man erinnerte zunächst an bekannte pathologisch-anatomische Erfahrungen an Menschen. Wenn auch langsam sich ausbildende krankhafte Veränderungen einer Großhirnhemisphäre oft ohne irgendwie bemerkbare Störungen verlaufen können, so steht es doch fest, daß plötzlich auftretende Reizungen oder Verletzungen einer Großhirnhemisphäre meistens eine Summe bestimmter und lokalisierter Störungen hervorrufen, und zwar halbseitige Bewegungs- und Empfindungslähmungen. Diese Funktionsstörungen treten meist gekreuzt auf, indem durch Verletzungen einer Großhirnhemisphäre Lähmungen auf der entgegengesetzten Körperhälfte hervorgebracht werden. Man erklärt das aus der Kreuzung der Nervenfasern im Gehirn und verlängerten Mark. Freilich ist dieses Ergebnis keineswegs konstant, und man sah sich gezwungen, wenigstens die vielgemachte Beobachtung einer Rückkehr der zeitweilig aufgehobenen oder gestörten nervösen Funktionen trotz des Fortbestehens der Störung im Gehirn sich daraus zu erklären, daß die eine noch gesunde Großhirnhemisphäre für die erkrankte eintreten und von einer Hemisphäre aus der Gesamtkörper in normaler nervöser Thätigkeit erhalten werden könne.

Der erste neue Versuch seit Gall zu einer ganz umgrenzten Lokalisierung einer Funktion in der Großhirnrinde des Menschen ging von Broca aus. Wir haben schon mehrfach auf denselben hingewiesen. Broca studierte den merkwürdigen Symptomenkomplex, den man als Sprechlähmung oder Aphasie zu bezeichnen pflegt. Dabei sind die Leidenden zwar unfähig, zu sprechen, aber ihre Zunge ist in den einfachsten und daher typischen Fällen nicht gelähmt und ihr psychisches Verhalten nicht gestört. Doch ist bei Aphasischen manchmal auch die Schriftsprache erloschen; manchmal schreiben rechtsseitig Gelähmte, namentlich solche von geringem intellektuellen Bildungsgrade, eine „Spiegelschrift“, von rechts nach links gehend, welche, im Spiegel gesehen, der gewöhnlichen Schrift entspricht. Broca wies aus der Litteratur nach, daß bei Aphasischen die Sektion häufig krankhafte Zerstörung der unteren Stirnwindung oder ihrer Nachbarpartien ergebe. Da man schon durch vergleichend-anatomische Studien vielfach zu dem Schluß geneigt gewesen war, daß der „Insel“ und den sie umgebenden Großhirnwindungen (untere Stirnwindung und obere Schläfenwindung) eine hohe Bedeutung für die Möglichkeit der Intelligenzentwickelung zuzusprechen sei, so brach sich um so rascher die Brocasche Theorie Bahn, daß der Sitz des Sprechvermögens in die „Insel“ und ihre Nachbarwindungen zu verlegen sei.

Und nun brachten die Untersuchungen zuerst von Hitzig und Fritsch an Tieren neues, ganz unerwartetes Beweismaterial für die Lokalisierungstheorie. Bei Reizung der Großhirnoberfläche mit elektrischen Strömen zeigt sich diese an ganz umschriebenen Stellen insofern erregbar, als sich von diesen Stellen einer wie der anderen Hemisphäre aus Bewegung der gegen-

überliegenden Körperhälfte des Tieres, und zwar von verschiedenen Punkten aus Bewegungen verschiedener Glieder und Muskeln, hervorrufen läßt. Das „Zentrum" der Freßbewegungen beantwortet dagegen seine elektrische Reizung mit doppelseitigen Bewegungen. Ist die Stelle der Großhirnrinde, von welcher aus gewisse Muskeln durch elektrischen Reiz in Bewegung versetzt werden können, zerstört oder entfernt, so entstehen ganz auffallende Störungen in der nervösen Beeinflussung der betreffenden Muskeln; die Tiere können zwar ihre Glieder noch bewegen, aber es zeigt sich, „daß sie nur noch ein mangelhaftes Bewußtsein von den Zuständen des betroffenen Gliedes besitzen und die Fähigkeit, sich vollkommene Vorstellungen über dasselbe zu machen, ihnen abhanden gekommen ist". Daraus hat man schließen wollen, daß die betreffenden Großhirnrindenstellen als „psychomotorische Zentren" angesprochen werden müssen, um so mehr, als sie, wie Soltmann gefunden haben will, bei neugeborenen Tieren noch nicht funktionieren und (bei Hunden) erst mit der dritten Lebenswoche ihre volle Wirkungsfähigkeit erhalten. Dagegen erklärt einer der geübtesten Gehirnphysiologen, Schiff, diese Reizwirkungen als reflektorische, und es ist immerhin sehr beachtenswert und zur Vorsicht mahnend nicht nur, daß oft sehr rasch die Störungen nach Ausschneiden der Zentren vorübergehen, sondern auch, daß nur elektrische Reize die Erregung hervorbringen können, bei denen es kaum ausgeschlossen werden kann, daß nicht die Reizung jener tiefer im Gehirn gelegenen, längst als motorische und Reflexzentren bekannten Teile treffe, so daß der Reizerfolg nicht von der Großhirnrinde, sondern von diesen tiefer gelegenen Gehirnteilen ausgehen würde; und das ist sicher, daß auch nach Entfernung der betreffenden Großhirnrindenpartien die elektrische Reizung noch genau den gleichen Erfolg zeigt. In letzterem Falle sind also ganz bestimmt tiefere Leitungsbahnen oder Erregungszentren von dem elektrischen Reiz getroffen worden.

Diese Aufstellung „psychomotorischer Zentren" veranlaßte H. Munk, nach „psychosensorischen Regionen" der Großhirnrinde zu suchen; Ausschneiden gewisser Partien der letzteren ruft nach Munk „Seelenblindheit" oder „Seelentaubheit" hervor, wobei die „Erinnerungsbilder der Gesichts- oder Gehörsempfindungen" verloren sein sollen. Nach L. Luciania und A. Tamburini handelt es sich aber um wahre Blindheit und Taubheit. Bleiben die Tiere am Leben, so bildet sich nach unvollständiger Exstirpation innerhalb 4—6 Wochen dieser abnorme Zustand zurück, die Tiere lernen, wie Neugeborene, wieder sehen und hören. Bei von der Geburt an einseitig blinden oder tauben Tieren sind die betreffenden physiologisch nicht funktionierenden sensoriellen Partien der Hirnoberfläche (die „inneren Sinnesorgane") schwächer, dagegen die funktionierenden stärker entwickelt.

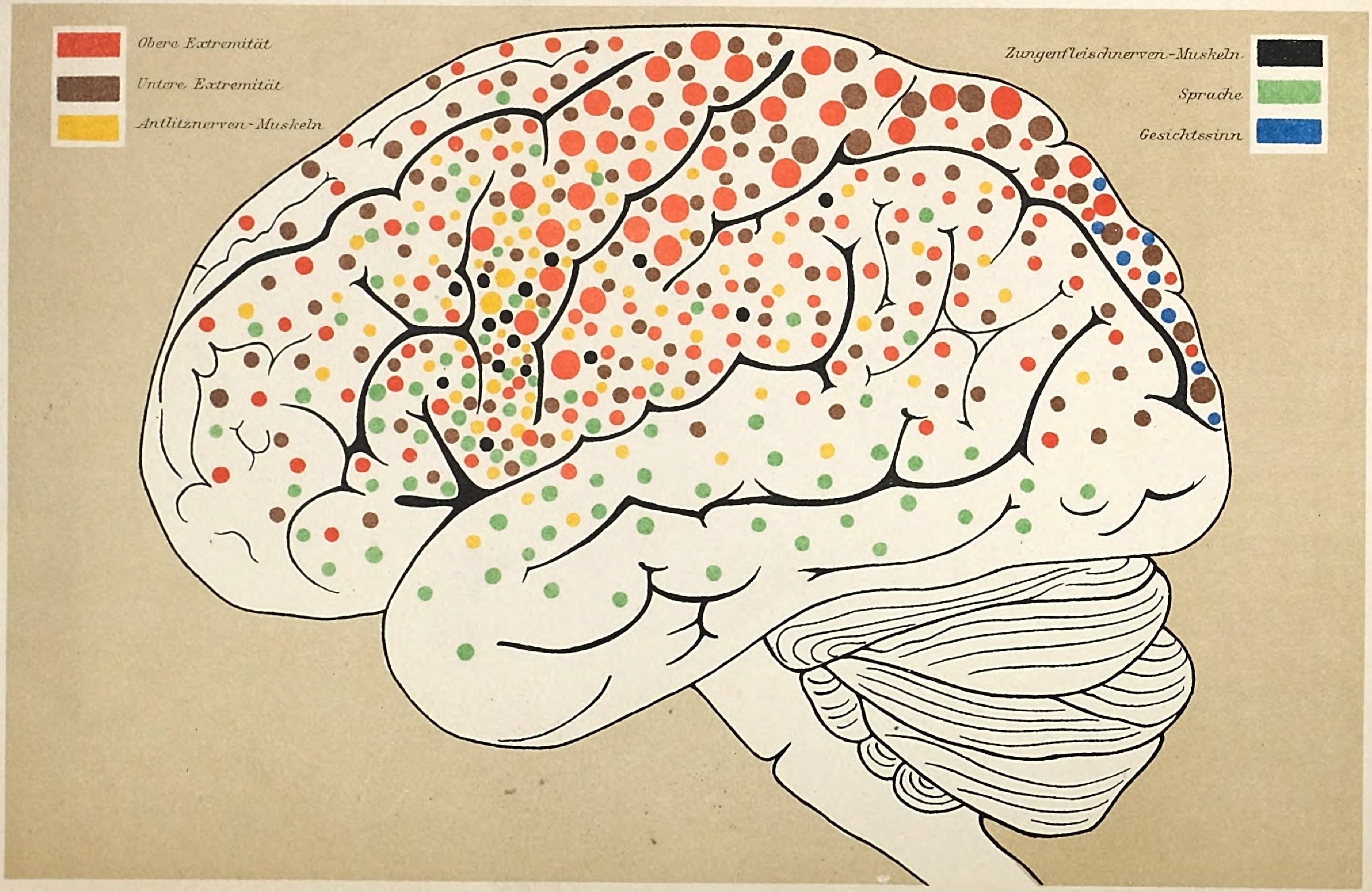
So groß auch die Übereinstimmung dieser Lokalisierungsversuche der Funktionen in der Großhirnrinde im allgemeinen erscheint, so darf man doch nicht vergessen, daß die darauf gegründete Theorie noch sehr gewichtige Gegner besitzt. Zu Goltz und Brown-Sequard kommen J. Burdon Sandersen, Duret, Carville und andere. Kußmaul, der beste Kenner dieses Symptomenkomplexes, kam in Beziehung auf die Aphasie zu den Worten: „Insbesondere werden wir über alle die naiven Versuche, einen ‚Sitz der Sprache' in dieser oder jener Hirnwindung zu suchen, mit Lächeln hinweggehen."

Es scheint aber der Tag zu nahen, an welchem die jetzigen Widersprüche der Untersuchungsergebnisse über die Lokalisierungen in der Großhirnrinde sich ausgleichen werden. Dafür sprechen die Untersuchungen eines so geübten und vorurteilsfreien Physiologen wie Exner. Exner ist der erste Physiolog, welcher nach einer, wie es scheint vorwurfsfreien Methode an der Hand der in der ärztlichen Litteratur zugänglichen kasuistischen Beobachtungen von Gehirnerkrankungen, welche nach genauem Studium der im Leben bestehenden Symptome zur Sektion gekommen sind, die Frage der Lokalisierung in der Großhirnrinde des Menschen in ihrer Gesamtheit studierte. Er

konstatiert zunächst, daß auf einer beträchtlichen Fläche der Rinde krankhafte Läsionen eintreten können, ohne irgend motorische oder sensible Störungen veranlassen zu müssen; es sind das die Rindenfelder der „latenten Läsionen“. Die latenten Läsionen werden um so häufiger, je weiter man sich von den Zentralwindungen entfernt. In der Rinde der linken Hemisphäre, unter deren Innervation die mehr gebrauchte rechte Körperseite fällt, ist das Rindenfeld der latenten Läsionen auffallend kleiner als bei der rechten Hemisphäre. Diese Beobachtungen sprechen von vornherein für eine gewisse Lokalisation der Funktionen in der Gehirnrinde, aber das Verhältnis ist doch anders, als es sich die Autoren namentlich nach den Tierexperimenten gedacht hatten. Um das Verhältnis mit Einem Blick zu überschauen, geben wir die interessante Abbildung Exners nur wenig verkleinert wieder, durch welche er seine Ergebnisse der Untersuchung illustriert (s. die beigeheftete Tafel „Lokalisation der Gehirnfunktionen“). Zweifellos gibt es danach Rindenfelder, welche bestimmten Bewegungs- und Sinnesfunktionen vorstehen; aber diese Rindenfelder sind nicht, wie man gemeint hatte, räumlich, wie auf einer Landkarte, voneinander abgegrenzt, sie schieben sich ineinander ohne scharfe Grenzen, und weit abgelegene Teile der Gehirnrinde haben die gleiche Funktion. Zum Teil finden wir an bestimmten Stellen der Hirnrinde viele Einzelzentren für bestimmte Funktionen nahe zusammengedrängt, aber von diesem Mittelpunkt verbreiten sie sich teilweise weit über die Großhirnoberfläche. Besonders in der Gegend der beiden Zentralwindungen wird es uns deutlich, daß die Rindenfelder verschiedene Funktionen haben. Im „geographischen Sinne“ gibt es sonach keine exakte Lokalisation auf der Gehirnoberfläche, was bis zu einem gewissen Grade die Anschauungen von Flourens und Brown-Sequard mit den modernen Anschauungen über Lokalisation in der Großhirnrinde (zwei scheinbar unvermittelbare Gegensätze) doch vereinigt. Weitere Forschungen werden hier gewiß noch zu den wichtigsten Aufschlüssen führen; freilich die „moderne Phrenologie“, die „Geographie der Großhirnrinde“, die erst vor kurzem so fröhlich wieder aufgelebt war, scheint bei dem heutigen Stande der Frage schon wieder auf dem Wege zum zeitweiligen Grabe zu sein.

Wir sehen aus allem: zu einer dogmatischen Festsetzung der Resultate der Forschung über die psychischen Funktionen des Großhirns, wie sie der Psycholog für die Erklärung der Rätsel der Psyche vom Naturforscher verlangen muß, ist es noch keineswegs Zeit. Und es wäre gut, hier auch nicht mit Worten, wie psychomotorische Zentren und psychosensorische Regionen, ein scheinbar wissenschaftliches Spiel zu treiben. Was soll man sich dabei denken? Diese Fragen spielen schon etwas in die eigentliche Psychologie über, deren Betrachtung, hier ausgeschlossen, an einem anderen Orte erfolgen soll. Doch muß so viel gesagt werden: durch die, wie man sie genannt hat, „Landkartenzeichnung auf der Gehirnrinde“, d. h. die Lokalisationstheorie in ihrer ganzen Schärfe, in der sie anfänglich nach dem Tierexperiment auftrat, würden Wille und Bewußtsein nicht nur lokalisiert, sondern auch, entsprechend den verschiedenen Zentren, geteilt. Eine solche Teilung widerspricht aber der ersten psychischen Erfahrung, die wir an uns selbst machen, der Erfahrung von der Einheit unseres Bewußtseins, von der Einheit unseres Willens. Aufklärungen über diesen scheinbaren Widerspruch können nur Beobachtungen am Menschen, der Rechenschaft von seinem Zustand geben kann, erteilen.

Sehr deutlich treten uns die hier obwaltenden Verhältnisse bei den so häufigen Störungen des „Sprechzentrums“, eines der am besten konstatierten „psychomotorischen Zentren“, entgegen. Kranke, welche an dem einfachen Symptomkomplex der Aphasie leiden, zeigen, wie gesagt, keine objektiv oder subjektiv erkennbaren Störungen der Intelligenz oder des Willens. Ihre Zunge hat die allgemeine Bewegungsfähigkeit nicht verloren, sie sind aber nicht im stande, mit dem Munde und der Zunge zu sprechen, während sie doch die Sprache der Umgebung verstehen und sich durch Zeichensprache und Schrift verständlich machen können. Solche Leidende haben also



LOKALISATION DER GEHIRNFUNKTIONEN.

das „psychische Sprechvermögen“ nicht verloren. Wenn uns der rechte Arm abgeschnitten ist, so können wir in der gewohnten Weise nicht mehr schreiben, obwohl unser Wille und unser „psychisches Schreibvermögen“ noch ungeschwächt vorhanden sind. Wenn das Sprechzentrum oder ein anderes der motorischen Zentren bei dem Menschen zerstört ist, so ist dadurch für Wille und Intelligenz auch nur ein Glied ausgeschaltet, entfernt, das nun nicht mehr „bewegt“ werden kann, obwohl der Kranke noch die ganze „psychische“ Möglichkeit besitzt, diese Bewegungen hervorzubringen. Die „psychomotorischen Zentren“ sind also nervös-mechanische Apparate, mit den betreffenden äußeren Gliedern des Körpers in Nervenverbindung stehend, durch deren Erregung der Mensch willkürlich die betreffenden komplizierten Bewegungsakte durch einen Anstoß auszulösen vermag, ohne daß er sich dann weiter um das mechanische Einzeldetail der gewollten Bewegung bekümmern muß; das besorgt der automatische Gehirnapparat durch seine Nervenverbindungen von selbst. Ganz entsprechend ist das Verhältnis bei Störungen in den „psychosensorischen Regionen“ des Menschengehirns, wie zahllose Krankengeschichten beweisen. Solche Kranke können z. B. blind sein, ohne daß das Auge seine physiologische Reaktion gegen Licht verloren hat, und ohne daß das Farben- und Formenvorstellungsvermögen gelitten hätte. Psychologische Versuche können eben, sobald es sich um die höchsten Fragen handelt, nicht mehr durch das Tierexperiment entschieden werden, da uns das Tier keinen Aufschluß über sein eigentlich psychisches Verhalten zu geben vermag; das kann nur der Mensch. Und soweit wir bis jetzt urteilen können, ist es noch nicht gelungen, die höchsten psychischen Fähigkeiten, Willen und Bewußtsein, im Gehirn weiter zu lokalisieren, als daß ihre ungestörten Kundgebungen an ein ungestörtes physiologisch-anatomisches Verhalten der grauen Rinde des Großhirns gebunden erscheint.

Gewicht und Größe des Gehirns.

Aristoteles hatte schon gelehrt, daß der Mensch von allen animalen Wesen das größte Gehirn habe. Bekanntlich wird aber der Mensch in der Gehirngröße vom Elefanten und Walfisch übertroffen. Das Gehirn des erwachsenen Europäers wiegt etwa 13—1500 g. Ein magerer Mann von 50 kg hat sonach ein Gehirngewicht, welches sich zu seinem Körpergewicht wie 1:38 oder höchstens wie 1:33 verhält. Ein fetter Mann von 100 kg hat deswegen doch kein schwereres Gehirn, bei ihm kann das Gehirngewicht relativ um die Hälfte kleiner, das Verhältnis wie 1:76 oder höchstens wie 1:66 werden. Bei der wechselnden Körperfülle gibt also die Vergleichung von Körpergewicht und Gehirngewicht keine ohne weiteres brauchbaren Werte, wenn es sich darum handelt, die relativen Gehirngrößen zweier Individuen gegeneinander abzuschätzen.

Zum Vergleich mit den Tieren wurde aus den Angaben von Carus und Johannes Müller, aber namentlich von v. Bischoff folgende Tabelle zusammengestellt, welche, wie man behauptet, zeigt, daß im allgemeinen das relative Hirngewicht um so größer ist, je intelligenter das Tier ist. Wie wenig aber im einzelnen das Ergebnis dieser Vergleichung stimmt, erhellt daraus, daß das intelligenteste Tier, der Elefant, zwischen Quappe und Salamander und tiefer als das Schaf zu stehen kommt. Der Mensch folgt in der Reihe erst auf die Singvögel und einige kleinere Säugetiere, namentlich Affen.

Verhältnisse des Hirngewichts zum Körpergewicht.

Kleine mitteleuropäische Singvögel	1:12 (bis 28)	Sai	1:25
Sajou	1:13	Elster	1:28
Hapale penicillata	1:22	Ratte	1:28
Saimiri	1:24	Uisti	1:28

Hylobates leuciscus	1 : 28 (bis 48)
Deutsches Weib (nach v. Bischoff)	1 : 35,16
Maulwurf	1 : 36
Deutscher Mann (nach v. Bischoff)	1 : 36,58
Callitrix	1 : 41
Lemur anjuanensis	1 : 42
Halb erwachsener Orang-Utan (nach Rolletson)	1 : 51
Halb erwachsener Schimpanse (nach Owen)	1 : 51
Katze	1 : 82 (bis 156)
Makako	1 : 96
Erwachsener Gorilla ca.	1 : 100
Papio	1 : 104 (bis 170)
Taube	1 : 104
Adler	1 : 160
Eidechse	1 : 160
Frosch	1 : 172
Hund	1 : 214 (bis 304)
Karpfen	1 : 248
Huhn	1 : 347
Schaf	1 : 351
Gans	1 : 360 (bis 467)
Salamander	1 : 380
Pferd	1 : 400 (bis 700)
Junger Elefant	1 : 500
Tiger und Löwe	1 : 500 (bis 600)
Ochs	1 : 500 (bis 800)
Quappe (Gadus lota)	1 : 720
Strauß	1 : 1200
Wels	1 : 1837
Landschildkröte	1 : 2240
Haifisch	1 : 2496
Seeschildkröte	1 : 5680
Thunfisch	1 : 37440

Mit dem besten Willen können wir aus dieser Zusammenstellung der relativen Hirn- und Körpergewichte nicht erkennen, daß „im allgemeinen“ der oben angeführte Zusammenhang der relativen Hirngewichte mit der Intelligenz der Wirbeltiere besteht. Wir sehen nur, daß kleinere Tiere derselben Wirbelklasse (Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel, Säugetiere) relativ größere Gehirne haben als größere; es verhalten sich so z. B. Karpfen und Thunfisch, Frosch und Salamander, Eidechse und Schildkröte, Singvögel und Strauß, kleine Äffchen und Elefant. Es ist dies das gleiche Gesetz, welches wir auch wieder in engeren Tiergruppen sich bewahrheiten sehen, wie bei Schaf und Rind, Katze und Löwe, kleinen und großen Affen, kleinen und großen Hunden. Bei den Hunden lassen jedoch die feinen, durch besondere Gelehrigkeit und Klugheit sich auszeichnenden Rassen, namentlich die feinen Spitzrassen, eine weit bedeutendere Gehirngröße erkennen, als ihrer Körpergröße zukommen würde; hier ist die „Zucht“ zweifellos von Einfluß; das Gehirn kann sich stärker entfalten, da bei ihnen die Schädelnähte bis ins vollerwachsene Alter offen bleiben.

Die gleiche Gesetzmäßigkeit gilt auch für den Menschen: im Verhältnis zur Körpergröße und zum Körpergewicht haben größere und schwerere Menschen des erwachsenen Alters ein relativ zu ihrer Größe und ihrem Körpergewicht kleineres, leichteres Gehirn als kleinere und leichtere Individuen. Seine 535 Bestimmungen an Männern (Deutschen) gruppiert z. B. v. Bischoff nach dem Körpergewicht folgendermaßen:

30 000	Gramm	Körpergewicht	= 3,7	Prozent	Gehirngewicht,
40 000	"	"	= 2,98	"	"
50 000	"	"	= 2,50	"	"
60 000	"	"	= 2,16	"	"
70 000	"	"	= 1,99	"	"
80 000	"	"	= 1,59	"	"

Entsprechende, vielleicht sogar noch etwas größere Unterschiede ergeben sich bei den (deutschen) Frauen (von 4,47—1,99 Proz.) in dem gleichen Sinne.

Für das Verhältnis von Körpergröße und Gehirngewicht kommen nach v. Bischoff bei den gleichen 535 männlichen Personen bei einer Körpergröße von

150	Zentim.	auf	1	Zentim.	8,7	Gramm Gehirn,
160	"	"	1	"	8,3	" "
165	"	"	1	"	8,1	" "
170	Zentim.	auf	1	Zentim.	7,9	Gramm Gehirn,
180	"	"	1	"	7,6	" "
190	"	"	1	"	7,1	" "

Auch in dieser Beziehung findet sich das Gleiche bei dem weiblichen Geschlecht. Wenn wir daher finden, daß, auf Körpergröße und Körpergewicht berechnet, das weibliche Gehirn etwas schwerer, größer erscheint als das männliche, so stimmt das mit der allgemeinen Erfahrung, daß leichtere, kleinere Individuen (Weiber) ein relativ etwas schwereres, größeres Gehirn haben als schwerere, größere (Männer), vollkommen überein.

Dabei dürfen wir aber nicht übersehen, daß größere und schwerere Individuen doch ein absolut größeres und schwereres Gehirn haben als kleinere und leichtere, was sich dann bei der Vergleichung der Geschlechter in dem gleichen Sinne wiederholt. Auch hier finden wir wieder die gleiche Gesetzmäßigkeit bei den Tieren. Die absolute Vergrößerung des Gehirns hält aber mit der absoluten Vergrößerung des Körpers nicht gleichen Schritt, sondern bleibt etwas hinter der letzteren zurück, woraus sich das besprochene Fallen der relativen Gehirngewichte erklärt.

Absolute Hirngewichte erwachsener Individuen (in Grammen):

Elefant	4166—4770	Pferd	600—680
Walfisch	1942—2816	Stier	400—500
Deutscher Mann (im Mittel aus 559), nach v. Bischoff .	1362	Gorilla	400—500
		Orang-Utan und Schimpanse .	350—400
Deutsches Weib (im Mittel aus 347), nach v. Bischoff .	1219	Tiger	291
		Löwe	200—250

Wenn wir den „deutschen Menschen" allein der Vergleichung unterziehen, zeigt sich aus v. Bischoffs Tabellen trotz der gewaltigen individuellen Schwankungen in der Gehirnausbildung, daß beim Steigen der Körpergröße die Zahl der leichteren Gehirne ab-, die der schwereren zunimmt, was sich dann beim Ziehen der Mittel geltend macht.

Bei dem neugeborenen Menschen ist das Gehirn bei Mädchen und Knaben etwa gleich schwer. Die ältere Angabe, daß das weibliche Gehirn in jener Periode leichter sei, ist irrig; v. Bischoff fand das Gehirn des weiblichen Neugeborenen sogar im Mittel etwas schwerer als das der Knaben: Knaben 367, Mädchen 396. Das relative Gewicht des Gehirns zum Körpergewicht scheint danach ebenfalls bei den Mädchen schon etwas größer zu sein als bei den Knaben, was sich ja auch bei den Erwachsenen noch ausspricht: Knaben 1:8,3, Mädchen 1:8,0. Im späteren Leben nimmt von der Geburt an mit dem Alter und dem Körpergewicht das absolute Gehirngewicht zu, so daß es bis zum fünften Lebensjahre auf das Dreifache bis nahezu Vierfache steigt, und absolut erscheint von diesem Alter an das männliche Gehirn größer als das weibliche. Dagegen nimmt mit dem zunehmenden Wachstum und Alter das relative Hirngewicht ab, doch nicht, ohne in der ersten Lebenszeit nach der Geburt erst etwas angestiegen zu sein. Der Gang erscheint nach v. Bischoff nicht ganz regelmäßig (nach Bollinger-Oppenheimer zum Teil wegen der verschiedenen Todesursachen; s. in Band II bei Körpergewicht):

Neugeborne Knaben	1: 8,3	bis Ende des 3. Lebensjahres .	1:18
bis Ende der 4. Lebenswoche .	1: 7	= = = 7. = .	1:12
= = = 12. = .	1: 5	= = = 12. = .	1:23
= = des 1. Lebensjahres .	1: 6	= = = 14. = .	1:15 (bis 25)
= = = 2. = .	1:14	= = = 15. = .	1:22

Bei den Frauen scheint das Maximum des (mittleren) Hirngewichts im 20. Lebensjahre erreicht zu sein, bei dem Manne erst zwischen dem 20. und 30. Lebensjahre. Im höheren Alter nimmt bei beiden Geschlechtern das Gehirngewicht ab und zwar beim Manne zwischen dem 60. und 70. Jahre, bei dem Weibe schon zwischen dem 50. und 60. Jahre. Die Abnahme steigt bei beiden Geschlechtern mit dem zunehmenden Alter und erreicht bei beiden auch etwa die gleiche Größe,

bei dem männlichen Geschlecht 117, bei dem weiblichen 121 im Maximum. Zu weiteren Schlüssen, z. B. daß bei Männern schon zwischen dem 30. und 40. Lebensjahre eine Abnahme, zwischen dem 40. und 50. ein Gleichbleiben und zwischen dem 50. und 60. wieder eine Zunahme erfolge und ähnlich bei den Frauen, nur in der Zeit um zehn Jahre vorgeschoben, hält sich v. Bischoff, trotzdem er über das größte bis jetzt benutzte exakte Beobachtungsmaterial verfügt, nicht für berechtigt, besonders da die Zahlen der Gehirne in den einzelnen Gruppen nicht gleich sind und mit der verschiedenen Sterblichkeit in den verschiedenen Lebensaltern zusammenhängen. Bei beiden Geschlechtern ist übrigens das mittlere Gehirngewicht zwischen dem 30. und 40. Lebensjahre dem allgemeinen mittleren Hirngewicht am nächsten. Gewiß mit Recht darf man bei dieser anfänglichen Zunahme und auch zum Teil bei der schließlichen Abnahme des Gehirngewichts an die Parallele mit der zu- und abnehmenden Intelligenz in den verschiedenen Lebensaltern denken. Dabei dürfen wir aber nicht vergessen, daß die hier angeführten Resultate nur Mittelwerte sind; in allen Lebensaltern kommen niedrigste und höchste Gehirngewichte vor.

Wilhelm Braune hat bewiesen, daß die lange behauptete ausgesprochene Asymmetrie der beiden Hirnhälften nicht besteht, die Differenzen sind so klein, daß sie in die Fehlergrenzen fallen. Der asymmetrischen Entwickelung des Muskel- und gesamten Bewegungssystems, wobei die rechte Körperhälfte gewöhnlich größer und stärker ausgebildet ist, schließt sich das Gehirn nicht an.

In ethnologischer Beziehung sind unsere Kenntnisse über das Gehirn leider noch sehr mangelhaft. Man hat sich fast ausschließlich damit begnügt, um ein Bild von der allgemeinen Entwickelung der Gehirngröße zu erhalten, die „Rassenschädel" in ihrem Innenvolumen der Schädelkapsel mit mehr oder weniger guten Methoden auszumessen. Um von hier aus auf das Gehirngewicht rechnen zu können, hat man mehrfach den Raum (Gewicht) zu bestimmen versucht, welcher in der frischen Schädelhöhle von den neben dem Gehirn noch in dieser enthaltenen Organen (Blutgefäße, Hirnhäute, Hirnwasser) eingenommen wird. Aber beim Trocknen verändert sich das Volumen der Schädelhöhle nicht unbeträchtlich, man muß daher auch diesen Faktor in Rechnung ziehen. Davis zieht bei trockenen Schädeln 15 Prozent des gefundenen Volumens der Schädelhöhle ab, um das Gehirngewicht zu finden. Nach v. Bischoff müssen bei frischen Schädeln beim männlichen Schädel im Mittel 13,5, beim weiblichen Schädel nur 9,8 Prozent des Volumens abgezogen werden, bei trockenen Schädeln dagegen bei männlichen im Mittel 11,9, bei weiblichen 8,8, also, wenn wir beide Mittel vereinigen, etwa 10 Prozent. Doch sind leider die Differenzen der Einzelwerte, aus welchen diese Mittelzahl gezogen ist, sehr beträchtlich. Die absoluten Differenzen schwanken bei männlichen trockenen Schädeln zwischen 32 und 370, also etwa um das Zehnfache, die relativen (zum Gesamtvolumen der Schädelhöhle) von 2,3—22,6 Prozent, also in den gleichen Grenzen. Die Berechnung des Gehirngewichts aus dem Schädelinnenraum des trockenen Schädels ist daher mit recht weit gehenden Fehlern behaftet, so daß die Resultate, wenn es sich um kleinere Differenzen handelt, doch nur mit größter Vorsicht benutzt werden dürfen.

Das spezifische Gewicht des Gehirns des Menschen schwankt nach v. Bischoff zwischen 1030 und 1043,7 bei Männern und 1030,5 und 1047,8 bei Frauen, wenn das Gewicht des gleichen Volumens Wasser = 1000 gesetzt wird. Das weibliche Gehirn hat sonach im gleichen Volumen im Mittel etwas mehr feste Masse als das männliche.

Aus seinen direkten Gehirnwägungen und deren Vergleichung mit den Resultaten anderer Autoren gelangt v. Bischoff zu dem Resultat, daß die Gehirne der Europäer (unabhängig von der Staatszugehörigkeit) im Mittel etwa gleich schwer sind. Die bisher angenommenen Verschiedenheiten im Gehirngewicht zwischen Deutschen verschiedener Stämme und verschiedenen

europäischen Völkern verringern sich und verschwinden mehr und mehr, je größer die Zahl der gewogenen Gehirne wird.

Gewicht des Gehirns im Mittel (in Grammen):

Süddeutsche (nach v. Bischoff) .	1358	Polen (nach Weißbach) . .	1352
Engländer (nach Boyd) . . .	1345	Ruthenen = . . .	1350
50 Franzosen (nach v. Bischoff)	1381	Slawen = ...	1337
Rumänen (nach Weißbach) . .	1358	Italiener = . . .	1333
Magyaren = = . .	1352	Zigeuner = . . .	1245

v. Bischoff neigt sich der Meinung zu, daß das „europäische Gehirn" wohl überall ein Mittelgewicht von 1350—1360 g besitzen wird.

Immerhin muß sich hierbei auch die gewiß etwas verschiedene mittlere Körpergröße in den verschiedenen Gegenden Europas geltend machen, wie niemand sicherer als v. Bischoff selbst bewiesen hat. Vielleicht erkennen wir einen derartigen Einfluß doch schon aus den Berechnungen des Gehirngewichts aus dem Volumen der Schädelhöhle des trockenen Schädels. Nach Davis haben die Germanen, Kelten, Briten, Engländer, Franken, Russen, Iren und Deutschen (alle männlichen Geschlechts) die höchsten mittleren Hirngewichte, nämlich von 1499—1404, die Schweden 1392, während die im Mittel zweifellos kleineren Romanen: Spanier, Italiener und Franzosen, nur mit einem mittleren Gehirngewicht von 1338—1369 aufgeführt sind.

Es muß auch noch das Ergebnis hervorgehoben werden, daß die Landleute aus der Umgegend Münchens, trotzdem sie an Körpergröße die Stadtbevölkerung übertreffen, ein im Mittel etwas kleineres Volumen der trockenen Schädelhöhle besitzen als die Stadtbewohner. Broca schließt aus seinen Beobachtungen an Kirchhofschädeln aus verschiedenen Jahrhunderten, daß mit der steigenden Zivilisation (d. h. von der älteren bis in die Neuzeit) das Volumen der Schädelhöhle der Pariser etwas zugenommen habe. Welcker findet entsprechende Unterschiede zwischen Anatomie-Leichen und der studierenden Jugend in Halle. Vielfach hat man bei Irren und Selbstmördern schwerere und größere Gehirne neben zahlreichen relativ kleinen gefunden. Bei Verbrechern ist auch nach v. Bischoffs und anderer Gehirnwägungen wie nach den Volumbestimmungen der trockenen Schädelhöhle zu bemerken, daß die mittleren Größen für Gehirn und Gehirnraum des Schädels relativ seltener, dagegen kleine und größte Maße relativ häufiger sind als bei der übrigen Bevölkerung, aus der sie hervorgegangen sind.

Für die „Kulturvölker" weisen auf eine relativ bedeutendere Ausbildung des Kopfes auch die Proportionsbestimmungen hin.

Von „Rassengehirnen" existieren bis jetzt nur relativ wenige Wägungen; auch hier finden wir die brauchbarsten Resultate bei v. Bischoff verzeichnet.

Rassengehirne	Zahl der Individuen	Gehirngewicht in Grammen	
		Mittel	Schwankungsbreite
Männliche afrikanische Neger	8	1232	1178—1356
Negerinnen (nach Peacock)	2	1202	1102—1304
Buschweiber (nach J. Marshall, Flower und Murrie)	2	997	894—1100
Chinesische Männer (nach Crochley und Clapham)	11	1428	1304—1588
Chinesische Weiber	5	1290	1205—1398
Paula-Insulaner	4	1402	1361—1474
Bengalese	1	1531	?
Eingeborner von Bombay, gemischten Ursprungs (nach Peacock)	1	1006	?
Hindu (nach Huschke)	1	1176	?

Rassengehirne	Zahl der Individuen	Gehirngewicht in Grammen	
		Mittel	Schwankungsbreite
Eingeborne Algerier, Turkos (nach v. Bischoff)	9	1366	1311—1465
Franzosen, Soldaten aus 36 verschiedenen Departements (nach v. Bischoff)	50	1381	1119—1672
Süddeutsche Männer (nach v. Bischoff)	545	1361	1018—1685
Süddeutsche Frauen " " "	341	1220	820—1565

Diese Reihe ist trotz ihrer Unvollständigkeit doch sehr interessant. Sie beweist uns, daß die althergebrachte Meinung, die Europäer überträfen an Gehirnausbildung alle übrigen Völker der Welt, ganz irrig ist; besonders auffallend ist das hohe Gehirngewicht der Chinesen und Palau-Insulaner. Auffallend ist die geringe Gehirngröße der Hindu; es sind wahrscheinlich Inder niederer Kaste gemeint, die sich durch ihre Kleinheit und den zierlichen Knochenbau von den Indern höherer Kaste zu unterscheiden pflegen. Die Zigeuner schließen sich in Beziehung auf geringe Gehirngröße an diese Hindu an. Unter den aufgeführten Negergehirnen ist keins, das sich durch eine bedeutendere Größe ausgezeichnet hätte; ihr Maximum erreicht noch nicht das Mittelgewicht von v. Bischoffs Süddeutschen. Immerhin ist die Zahl von Europäern, welche mit Gehirnen von der Größe des Negergehirns (unter 1300 g wiegend) den Anforderungen des Kulturlebens genügen, eine sehr beträchtliche. Unter den 545 deutschen Männern, deren Gehirngewichte v. Bischoff aufzählt, besaßen 6 ein Gehirngewicht von weniger als 1100 g (die Gewichte sind: 1018, 1039, 1069, 1075, 1077, 1095 g); bei 21 wog das Gehirn zwischen 1100 und 1199 g, und bei 140 wog es zwischen 1200 und 1299 g, im ganzen befanden sich unter den 545 Deutschen 167 Männer, welche in der Gehirnausbildung dem „mittleren Neger" entsprachen, und etwa 2 Dutzend, welche in dieser Beziehung noch unter ihm standen. Ähnlich geht es uns bei der Vergleichung der Frauengehirne. Wir sind vor der „Affenähnlichkeit" fast entsetzt, wenn wir erfahren, daß bei zwei Buschweibern das mittlere Hirngewicht die Größe von 1000 g nicht erreicht (997 g), aber die Zahlen v. Bischoffs lehren, daß unter den von ihm untersuchten 341 deutschen Frauen 7 waren, bei denen das Gehirngewicht unter der Mittelzahl der Buschweiber blieb; dazu kommt noch ein Gehirn mit genau 1000 g Gewicht. Das niedrigste Gehirngewicht, welches v. Bischoff bei deutschen Frauen fand, ist noch um 74 g niedriger als das leichtere der beiden Buschweibergehirne. Hier ist freilich als Todesursache Alienatio mentis (Geistesstörung) angegeben, aber bei keiner der anderen Personen mit so leichten Gehirnen deutet irgend eine Bemerkung darauf hin, daß ihre Geisteskräfte für das Leben unter den Kulturverhältnissen zu klein gewesen seien (die absoluten Zahlen dieser acht weiblichen Gehirne sind: 820, 832, 920, 950, 963, 990, 995, 1000). Mit einem Gehirn von der Größe des weiblichen mittleren Negergehirns (1000—1199) gingen von diesen 341 deutschen Frauen im Lichte der Kultur unbeanstandet wegen ihrer geistigen Fähigkeiten, abgesehen von jenen oben angeführten 7 den Buschweibern in der Gehirnentwickelung entsprechenden Personen, noch im ganzen 150 Frauen umher und zwar 27 mit einem Gehirngewicht zwischen 1000 und 1099 und 123 mit einem solchen zwischen 1100 und 1199 g. Ich denke, derartige Beobachtungen veranlassen uns, recht bescheiden über die „tiefstehenden Wilden" und noch mehr über die „in der Kulturentwickelung zurückgebliebenen Chinesen" in Beziehung auf unser vermeintliches Übergewicht in der Gehirnausbildung zu urteilen. Und unsere Bescheidenheit muß noch steigen, wenn wir sehen, daß in der Tabelle v. Bischoffs über die Gehirngewichte von „berühmten Männern", namentlich Gelehrten, das Mittelgewicht von drei in ihrer Zeit hochberühmten Anatomen identisch ist mit dem der Negergehirne der obigen Reihe (1232 und 1233 g).

v. Bischoff zählt (meist) aus der von ihm begründeten Sammlung lorbeerbekränzter Gehirne 15 von berühmten Gelehrten auf. Das Maximalgewicht betrug bei diesen 1590 g, das Minimalgewicht 1207 g. Die übrigen Gehirngewichte zeigen, daß die Verteilung der individuellen Verschiedenheiten des Gehirngewichts sehr annähernd die gleiche ist, wie wir sie in der v. Bischoffschen Gesamtreihe der männlichen deutschen Gehirngewichte finden. v. Bischoff sagt: „Von allen diesen Gehirnen besitzt keins ein auffallend hohes Gehirngewicht: acht übersteigen allerdings das mittlere Hirngewicht, drei besitzen ein mittleres, vier aber ein niedriges. Dagegen gehören die schwersten von mir beobachteten Gehirne von 1650, 1678, 1770, 1925 g gewöhnlichen und unbekannten Arbeitern an. Das schwerste, ganz authentisch gewogene Gehirn von 2222 g fand Rudolphi bei einem ganz unbekannten Menschen, Namens Rustan. Nach solchen Erfahrungen glaubte R. Wagner berechtigt und genötigt zu sein, auszusprechen: daß hochbegabte Menschen zwar ein wohlentwickeltes Gehirn besitzen, daß sich aber dessen Gesamtgewicht nicht auffallend von dem Gewicht anderer wohlentwickelter und normaler Menschen unterscheide; oder: daß die absoluten und relativen Hirngewichte in Bezug auf Geistesthätigkeit keine sicheren Schlüsse, eher negative Resultate im Verhältnis zu den bisherigen Ansichten ergeben, oder endlich: daß allerdings eine gewisse Schädelkapazität und ein gewisses Volumen des Gehirns, welches (bei Männern) etwa einer Gewichtsgröße dieses Gebildes von 1100 oder 1200 bis 1500 g entspricht, erforderlich sind, um Geisteskräfte zu entfalten, welche ein höheres Kulturleben einem Volke und bedeutende Leistungen den Individuen ermöglichen, daß aber die innerhalb dieser Zahlen liegenden Schwankungen ohne auffallende Bedeutung für die psychische Entwickelung der Individuen zu sein scheinen. Es hat nicht an Widersprüchen gegen diese Ansichten R. Wagners gefehlt, und namentlich hat sich Professor H. Welcker, allerdings nur nach Bestimmungen der Gehirngewichte mehrerer bekannter Gelehrten und ausgezeichneter Dichter aus dem Horizontalumfang und dem Innenraum ihrer Schädel, gegen die Aussprüche R. Wagners erklärt und sich zu dem Ausspruch berechtigt erachtet, daß die Mehrzahl der geistig hochbegabten Menschen Gehirne besitzen, deren Gewicht über dem normalen Mittel steht. Ebenso hat Broca sich gegen R. Wagners Folgerungen ausgesprochen, indem er dessen Mitteilungen einer scharfen Kritik unterwirft.

„Ich stimme zwar", führt v. Bischoff fort, „mit den beiden zuletzt genannten Forschern darin überein, daß die von R. Wagner, von Welcker und mir mitgeteilten Hirngewichte mehr oder weniger berühmter und ausgezeichneter Gelehrten keineswegs als Gegenbeweise gegen die Kongruenz von Hirngewicht und geistiger Befähigung und Leistung betrachtet werden können, da in der That die meisten derselben auch das Mittelgewicht überschreiten. Allein ebensowenig können dieselben als direkte und unmittelbare Beweise für die Übereinstimmung der Masse des Gehirns mit seiner psychischen Leistung angeführt werden."

So bescheiden drückt sich einer der ausgezeichnetsten Naturforscher aller Zeiten, gleichzeitig der beste Kenner der hier einschlägigen Fragen aus. Wir wagen nichts dazuzufügen.

Zum Schluß sei nur erwähnt, daß Raffael Sanzio und Gambetta, Männer, welche den Stempel ihres Geistes in Kunst und Politik ihrer Mitwelt aufzudrücken verstanden, Gehirngrößen besessen haben, welche jedenfalls unter dem mittleren Gehirngewicht ihrer Zeitgenossen zurückblieben. Und wenn wir den einfachen Parallelismus zwischen Gehirngewicht und Geistesarbeit des Individuums zugestehen wollten, wäre es dann für den bescheidenen Arbeiter im Kittel nicht erhebend, zu denken, daß der Mann der dunkeln Arbeit noch heute wie zur Zeit des ersten historischen Grauens am Himmel der europäischen Geschichte, wie kein Geringerer als R. Virchow zuerst an den Schädeln aus den Pfahlbauten der Schweizerseen bewiesen hat, vielfach hochberühmte, lorbeergekrönte Köpfe an Gehirngröße überragt?

14. Die Sinnesorgane und die Sprachwerkzeuge.

Inhalt: Allgemeine Gesetze der Empfindung. — Der Geruchssinn und der Geschmackssinn. — Der Tastsinn (Hautsinn) und die Allgemeinempfindung. — Der Gehörssinn. — Der Gesichtssinn. — Raumwahrnehmungen mittels des Auges. — Die Menschenstimme.

Allgemeine Gesetze der Empfindung.

Die Wirkungsweise der Nerven als Vermittler aller der tausendfältig verschiedenen möglichen Empfindungen, als Urheber der Bewegungen der Skeletmuskulatur und jener großen wunderbaren Gruppe innerer mechanischer und chemischer Bewegungen, auf denen das organische und zum Teil das Empfindungsleben des Menschen beruhen, scheint so ungleichartig zu sein, daß es uns nicht wundernehmen kann, wenn man den Grund aller dieser Differenzen in den Wirkungen der Nerven lange in einer qualitativen Verschiedenheit der Bewegungs-, Empfindungs-, Absonderungs-, Ernährungsnerven hat suchen wollen. Wir haben aber oben darauf hingewiesen, daß weder das Mikroskop, noch die chemische Analyse, noch das physikalische Experiment der Prüfung der Nervenströme an den Stämmen und Zweigen der Nerven solche hypothetisch gesuchte Unterschiede hat nachweisen können. Die höheren Sinnesnerven (z. B. der Riechnerv) zeigen, wie die rein empfindlichen hinteren und die rein der Bewegung dienenden vorderen Nervenwurzeln und wie jeder gemischte (Empfindungs- und Bewegungsfasern führende) Nervenstamm das gleiche elektromotorische Verhalten, d. h. die „ruhenden Nervenströme" in der gleichen Richtung ebenso die „negative Schwankung" als einziges physikalisches Zeichen ihrer inneren Bewegung im Moment, in welchem sie Bewegung und Empfindung vermitteln. Der Verlauf der „negativen Schwankung des Nervenstromes" beweist, wofür übrigens auch noch direkte Versuche angeführt werden können, daß das „Leitungsvermögen" aller Nervenfasern in doppelter Richtung vorhanden ist, daß sie alle (wie die Empfindungsnerven) den Reizzustand von der Peripherie unseres Körpers zu den nervösen Zentralorganen, also zentripetal, wie umgekehrt (entsprechend den Bewegungsnerven) auch von den nervösen Zentralorganen ausgehende Reizzustände zu der Peripherie des Körpers, also zentrifugal, leiten können. Das Leitungsvermögen aller Nervenfasern erscheint sonach als ein doppelsinniges. Die Ursache, daß normal der Empfindungsnerv nur zentripetal, der Bewegungsnerv nur zentrifugal leitet, ist hiernach nicht in den Nerven als solchen begründet.

Merkwürdigerweise laufen im Nervenstamm, wie in dem Drahtbündel eines elektrischen Kabels, die ja auch mit elektrischen Bewegungen verknüpften physiologischen Reizantriebe der einzelnen im Nervenstamm enthaltenen Nervenfasern, ohne sich gegenseitig in ihrem Verlaufe irgendwie zu stören, nebeneinander in den beiden verschiedenen Richtungen. Es ist dies das sogenannte Gesetz der isolierten Leitung, nach welchem im Nervenstamm der physiologische, im Organismus normal erzeugte Erregungszustand aus einer Nervenfaser niemals direkt (d. h. ohne Vermittelung einer Nervenzelle) auf eine andere, d. h. von Nervenfaser zu Nervenfaser, übertragen wird. Die Erregung beschränkt sich primär auf die gereizte Nervenfaser und ihre peripheren und zentralen Endverzweigungen. Wie wir gesehen haben, finden dagegen mit Leichtigkeit und ganz regelmäßig Übertragungen von Nervenerregungen von einer Nervenfaser auf die andere durch Vermittelung von Nervenzellen in den nervösen Zentralorganen statt.

Nach dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens werden die Unterschiede in der physiologischen Thätigkeit der Nerven verursacht durch die Verschiedenheit der peripher oder zentral gelagerten Apparate (Organe), welche durch die Nerven miteinander in Verbindung gesetzt werden. Wir verstehen diese Anschauung, wenn wir uns z. B. daran erinnern, daß die motorische oder Bewegungsnervenfaser in einer Ganglienzelle, zentral, entspringt und in einer Muskelfaser, peripher,

endigt. Sein normales Reizorgan, das Organ, von dem normal sein Erregungszustand ausgeht, ist die zentral gelegene Ganglienzelle, sein Arbeits- oder Erfolgsorgan ein peripher gelegener Muskel; in der Bewegungsfaser verläuft daher die Erregung zentrifugal, obwohl sie an sich auch die Fähigkeit zur zentripetalen Leitung besitzen würde. Umgekehrt liegt das Verhältnis bei der sensibeln oder Empfindungsnervenfaser: sie verläuft von einem der peripher gelegenen Reizorgane, die wir als Sinnesorgane bezeichnen, wie Auge, Ohr, Tastkörperchen und andere, zu ihrem zentral gelegenen Arbeits- oder Erfolgsorgan, im Rückenmark und Gehirn. Wenn die Erregung normal verläuft, so wirkt bei den Empfindungsnerven der erregende Reiz von einem (im allgemeinen) an der Außenfläche, der Peripherie, unseres Körpers gelegenen Reizorgan, Sinnesorgan, aus, und der Erregungszustand der Nervenfaser verbreitet sich infolge davon von der peripherisch gelegenen Reizstelle nach dem Zentrum der nervösen Thätigkeiten.

Woher kommen nun aber bei der allgemeinen Gleichartigkeit auch der sensibeln Nervenfasern untereinander die verschiedenen Qualitäten der Empfindung? Wodurch unterscheiden wir die gleichartige Erregung in den verschiedenen Sinnesnerven als sehen, hören, schmecken, riechen, tasten und frieren oder warm sein? Die Erfahrung belehrt uns, daß bei dem Menschen durch Reizung jeder einzelnen „empfindlichen" Nervenfaser nur solche Empfindungen entstehen können, welche zu dem Qualitätenkreise eines einzigen bestimmten Sinnes gehören, und daß jeder Reiz, welcher diese Nervenfaser überhaupt zu erregen vermag, nur Empfindungen dieses besonderen Empfindungskreises hervorruft. Man erkennt ja ohne Schwierigkeit, daß der Bau der Sinnesorgane für das Wirksamwerden verschiedener Reizmittel: Druck, Licht, Wärme, Schall, chemische Einwirkung, speziell berechnet erscheint; aber damit wird doch die „spezifische Energie" der Sinnesnerven, das Gebanntbleiben jeder in den Sinnesnerven ablaufenden Erregung in den spezifischen Empfindungskreis des betreffenden Sinnes, nicht erklärt. Wir haben uns nach diesen Erfahrungen zu denken, daß die spezifischen Erfolge der Erregung der Sinnesnerven bedingt werden nicht durch die Sinnesnerven selbst oder eine spezifische, eigentümliche Art der in ihnen durch den Sinnesreiz erzeugten Erregungsbewegung, sondern durch die nervösen Zentralorgane, denen der, wie wir glauben, an sich in allen Sinnesnerven wie in allen Nerven überhaupt gleichartige Erregungszustand zugeleitet wird. Jedes nervöse Sinneszentralorgan in der grauen Rinde der Hemisphären des Großhirns erscheint nur im stande, eine bestimmte Empfindung, die von einem in ihm vor sich gehenden Bewegungszustande abhängt, zu vermitteln. Derselbe Reiz (Nervenerregungszustand) wird hiernach, wenn er verschiedene Sinneszentralorgane im Gehirn trifft, nach der „spezifischen Energie" jedes einzelnen derselben gedeutet.

Der eigentliche spezifische Erregungsvorgang, den wir bei naiver Betrachtung in die Sinnesorgane selbst (Auge, Ohr, Haut 2c.) zu verlegen gewöhnt sind, findet also stets nur zentral im Gehirn (in der grauen Großhirnrinde) statt. Das Auge, wie alle anderen Sinnesorgane, empfindet an sich nichts. Ist der Sehnerv durchschnitten, so daß damit die Möglichkeit einer nervösen Leitung zwischen dem Auge und seinem inneren Zentralorgan im Gehirn unterbrochen ist, so entstehen nach wie vor Bilder auf der Netzhaut, welche äußeren Gegenständen entsprechen, wodurch die letzten lichtempfindlichen Enden des Sehnerven erregt werden; aber das Gehirn erfährt davon nichts, ein solcher Mensch ist blind. Auch der Sehnerv wie jeder Empfindungsnerv selbst ist zur Empfindung unvermögend; ein durchschnittener sensibler Nerv, dessen peripherisches Stück gereizt wird, vermittelt keine Empfindungen. Es liegt also nicht in den Sinnesorganen und nicht in etwaigen eigentümlichen oder besonderen Erregungszuständen der Sinnesnerven der Grund, warum wir einmal den (nach dem Gesagten an sich gleichen) Erregungszustand eines Nerven Licht, das andere Mal sauer nennen; der Grund dafür liegt einzig und allein in den den Reizzustand aufnehmenden und weiter verarbeitenden Gehirnorganen selbst, zu denen

die Nervenleitung geschieht. Muß der Augenarzt ein krankhaftes Auge ausschneiden, so erregt der Schnitt durch den Sehnerven, wenn derselbe trotz der Augenerkrankung überhaupt noch erregbar geblieben ist, nicht Schmerz, sondern eine blendende Lichterscheinung. Der Mensch ist dann noch nicht vollkommen blind. Er hat scheinbar an dem ausgeschnittenen Auge noch Lichtempfindungen, wenn z. B. durch die Narbenzusammenziehung bei dem Heilungsprozeß der Sehnerv gedrückt und gezerrt, d. h. mechanisch gereizt wird; solche Patienten *sehen* scheinbar Funken, Lichter, Feuerkreise, tanzende Gestalten mit der leeren Augenhöhle. Dieser Zustand kann nur so lange dauern, bis der Sehnerv, wie jedes dauernd ungebrauchte andere Organ auch, durch den Nichtgebrauch endlich seine Funktionsfähigkeit verloren hat. Auch dann ist aber ein solcher Mensch noch nicht vollkommen blind. Solange sein „inneres Gesichtsorgan im Gehirn“, dessen Erregungszustand von ihm bisher als durch äußere Lichterscheinungen hervorgerufen gedeutet wurde, noch durch direkte Reize, z. B. durch vermehrten Blutzufluß und anderes, erregbar ist, erscheint einem solchen Blinden wenigstens noch im Traume die Welt hell und farbig, und nur der wache Tag ist in Schwarz gekleidet. Erst wenn die zerstörende Einwirkung des Nichtgebrauches auch dieses innere Sinnesorgan unbrauchbar gemacht hat, wird sein Leben ein vollkommen dunkles. Doch bleiben ihm auch dann noch die Erinnerungsbilder von Gestalten und Formen. Erklärt ist freilich mit diesem notwendigen Zurückverlegen der „spezifischen Energie“ in das innere Sinnesorgan im Gehirn zunächst noch nichts, da wir uns die spezifische Molekularbewegung in den Nervenzellen der Gehirnorgane ebensowenig wie in den sensibeln Nervenstämmen vorstellen können. Aber das, was *Aristoteles* schon ausgesprochen hat, ist gewiß: daß die Empfindung durch eine in dem Zentralsinnesorgan erregte „Bewegung“ hervorgerufen wird.

Infolge des Ineinandergreifens der verschiedenen durch verschiedene Sinnesorgane vermittelten Wahrnehmungen können wir uns bekanntlich eine Vorstellung machen von dem in der Peripherie unseres Körpers (Sinnesorgan) gelegenen Orte der Reizwirkungen, welche unsere verschiedenen inneren „empfindlichen“ Gehirnorgane erregen. Diese Vorstellung über den Ort der Erregung ist bei Erwachsenen unter normalen Verhältnissen auffallend genau; mit geradezu überraschender Schärfe sind wir im stande, z. B. den Ort einer stattfindenden Reizung an unserer äußeren Körperhaut zu bestimmen. Wir haben stets im wachen Zustande eine Empfindung des jeweiligen Erregungszustandes aller unserer sensibeln Nerven sowie von der Lage aller Endorgane derselben, welche die normale Erregung vermitteln. Diese Ortskenntnis ist, wie wir an Kindern leicht feststellen können, nichts anderes als ein Erziehungsresultat; sollten vielleicht, so hat man gefragt, auch unsere spezifischen Sinnesempfindungen nichts anderes sein?

Jeder weiß aus Selbstbeobachtung, daß Erregungsvorgänge in unseren äußeren und inneren Sinnesorganen stattfinden können, ohne daß wir eine Notiz davon nehmen; so hört ein eifrig Lesender nicht, was um ihn vorgeht, obwohl das Geräusch seine Sinnesorgane erregt. Wir müssen, damit eine sensible Erregung zu einer Empfindung wird, unsere *Aufmerksamkeit* auf die stattfindende Erregung lenken. Es kann das willkürlich geschehen, meist aber erfolgt es unwillkürlich, ein starker Reiz erzwingt sich meist die Aufmerksamkeit. So steht bis zu einem gewissen Grade die Empfindung unter der Gewalt des Willens. Dazu kommt, daß normal wahrscheinlich stets nur *ein* Reiz gleichzeitig zur Wahrnehmung gelangen kann, die scheinbare Gleichzeitigkeit verschiedener Empfindungen rührt wohl nur von einem raschen Wechsel der Erregung der verschiedenen Organe her. Durch einen heftigen Schmerz oder auch schon dadurch, daß wir unsere Gedanken auf einen bestimmten Gegenstand wirklich konzentrieren, werden wir gefühllos für die gleichzeitig auf uns einwirkenden schwächeren sensibeln Reize. Aus allen Kriegsspitälern werden Fälle berichtet, in denen Verwundete über einer größeren Wunde andere Verletzungen, an sich auch sehr schmerzhafter Art, nicht bemerkt hatten. In der Aufregung des Gefechtes oder des plötzlichen

Schreckens kommt es vor, daß schmerzhafte Verletzungen gar nicht wahrgenommen werden. Das heroische Ertragen von Schmerz beruht also, wie die übergroße Empfindlichkeit für Schmerzen, auf der größeren oder geringeren Fähigkeit, der Aufmerksamkeit willkürlich eine bestimmte, von dem Schmerze abgewendete Richtung zu geben. Es gibt im Gehirn einen willkürlich in Thätigkeit zu versetzenden Empfindungshemmungsapparat, wie es für die motorische Seite des Nervenlebens einen willkürlich zu erregenden Reflexhemmungsapparat im Gehirn (in der Gegend der Seh- und Vierhügel, Lobi optici beim Frosch) gibt, bei dessen Erregung die Reflexe ausbleiben. Ein gesellschaftlich gebildeter Mensch weiß diesen Reflexhemmungsapparat besser zu benutzen als ein Bauer, der sich bei jedem Reize hinter den Ohren kratzt.

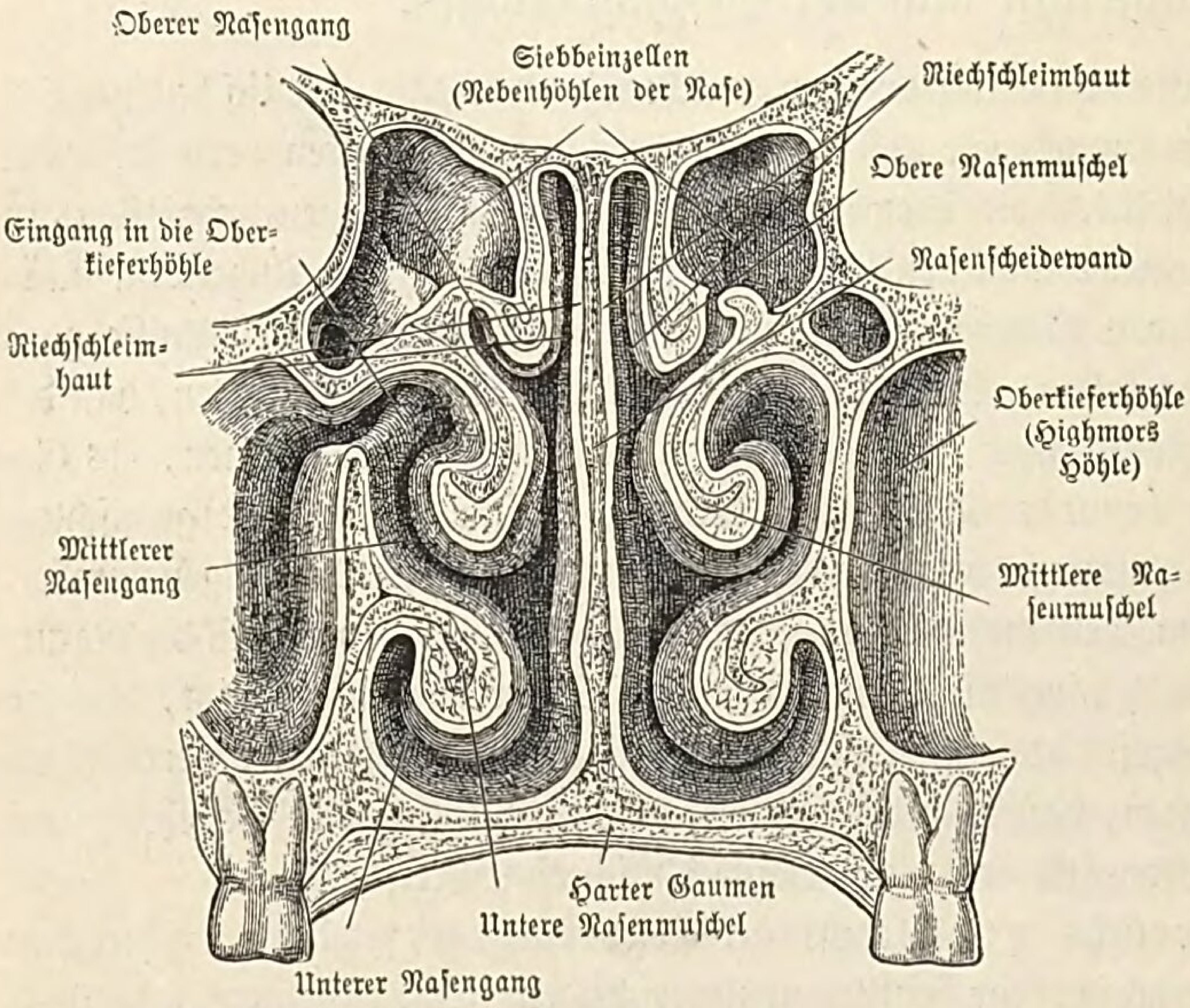
Der Geruchssinn und der Geschmackssinn.

Die wunderbaren Eigenschaften der Sinnesnerven, welche wir soeben als „spezifische Energie" bezeichnen lernten, hat man vermutungsweise als Erziehungsresultate zu erklären versucht. Für das neugeborne Kind existieren vielleicht die Trennungen der spezifischen Energien, wenigstens in der scharfen Weise, wie wir sie am Erwachsenen durch Selbstbeobachtung jeden Augenblick nachweisen können, noch nicht. Bei den niederen Tieren sind aber sicherlich diese Verhältnisse ganz andere als beim Menschen. Was sollen wir dazu sagen, wenn wir nachweisen konnten, daß der Blutegel seine „Augen" in der Zwischenzeit, in welcher sie nicht dem Sehzwecke dienen, als Geschmacksorgane und Tastorgane benutzt? Wir haben derartige Sinnesorgane mit gemischtem Empfindungskreis als Übergangssinnesorgane bezeichnet, und gerade auf derartigen wunderlichen Beobachtungen basiert zum Teil die Meinung, daß das, was bei dem durch die Natureinflüsse „erzogenen Menschen" als „spezifische Energie" eines Sinnesnerven erscheint, doch im Grunde auch nur ein Erziehungsresultat sein möchte. Diese Verständnisse treten unserem Verständnis näher, wenn wir bemerken, daß auch bei dem erwachsenen Menschen in Beziehung auf die Beurteilung der spezifischen Energien noch eine gewisse Unsicherheit herrscht.

Im allgemeinen sind die Geruchs- und Geschmackseindrücke, als spezifisch verschiedenen Sinnesempfindungsgebieten angehörig, sehr deutlich zu unterscheiden. Im einzelnen Falle irren wir uns aber in der Entscheidung, ob eine gewisse Empfindung dem Geruchs- oder dem Geschmackssinn zuzuschreiben sei, oft genug, und zwar teils in der Weise, daß wir Geschmacksempfindungen für Gerüche, teils und noch auffallender Geruchsempfindungen für Geschmackswahrnehmungen halten. Zu dem letzteren Irrtum gehört der sogenannte aromatische Geschmack; bei demselben haben wir, gleichzeitig etwa mit dem Geschmack des Zuckers, eine aromatische Geruchsempfindung, welche wir aber bei naiver Selbstbeobachtung ebenfalls als Geschmackswahrnehmung deuten. Halten wir uns während des Essens „aromatisch schmeckender" Gegenstände die Nase zu, so verschwindet der aromatische Geschmack, und nur der des Zuckers oder anderer Dinge bleibt, zum Beweise, daß der aromatische Geschmack eine Doppelempfindung, dem Geruchs- und Geschmackssinn angehörig ist. Ein anderes Beispiel der Art ist der „faulige" Geschmack und andere mehr. Anderseits gehen in die Sinnesorgane außer dem spezifischen Sinnesnerven auch Tast- und Temperaturnerven ein, deren Empfindungen in allen Sinnesorganen verbreitet sind. Wir halten nun auch manche Erregungen der letzteren Nervenfasern zum Teil für spezifische Sinnesempfindungen: der stechende, ätzende Geruch und Geschmack geben Beispiele für die genannten beiden Sinne von derartigen dem spezifischen Empfindungsgebiet der betreffenden Sinnesnerven nicht zugehörigen, aber im Sinnesorgan (durch die allgemeinen Empfindungsnerven) hervorgerufenen Gefühlseindrücken, welche wir fälschlich als Erregung des spezifischen Sinnesnerven namentlich dann

deuten, wenn gleichzeitig in dem Sinnesorgan auch eine Erregung des spezifischen Sinnesnerven stattfindet. Zwischen Gehörs- und Gesichtssinn hat man neuerdings, bei Irren namentlich, derartige Mischempfindungen wahrgenommen in der Weise, daß gewisse Töne als gelb, andere als rot bezeichnet werden. Daß man allgemein von „Farbenharmonie“ spricht, scheint auch für die Gesichtsempfindung noch auf einen dunkeln Anklang an die Gehörsempfindung, die wir speziell in harmonische und unharmonische einzuteilen pflegen, hinzuweisen. Bei dem Geschmacks- und Geruchssinn sind derartige subjektive Verwechselungen um so leichter möglich, da beide Sinnesempfindungen normal durch „chemische Reize“ auf die Endorgane der spezifischen Sinnesnerven hervorgerufen werden.

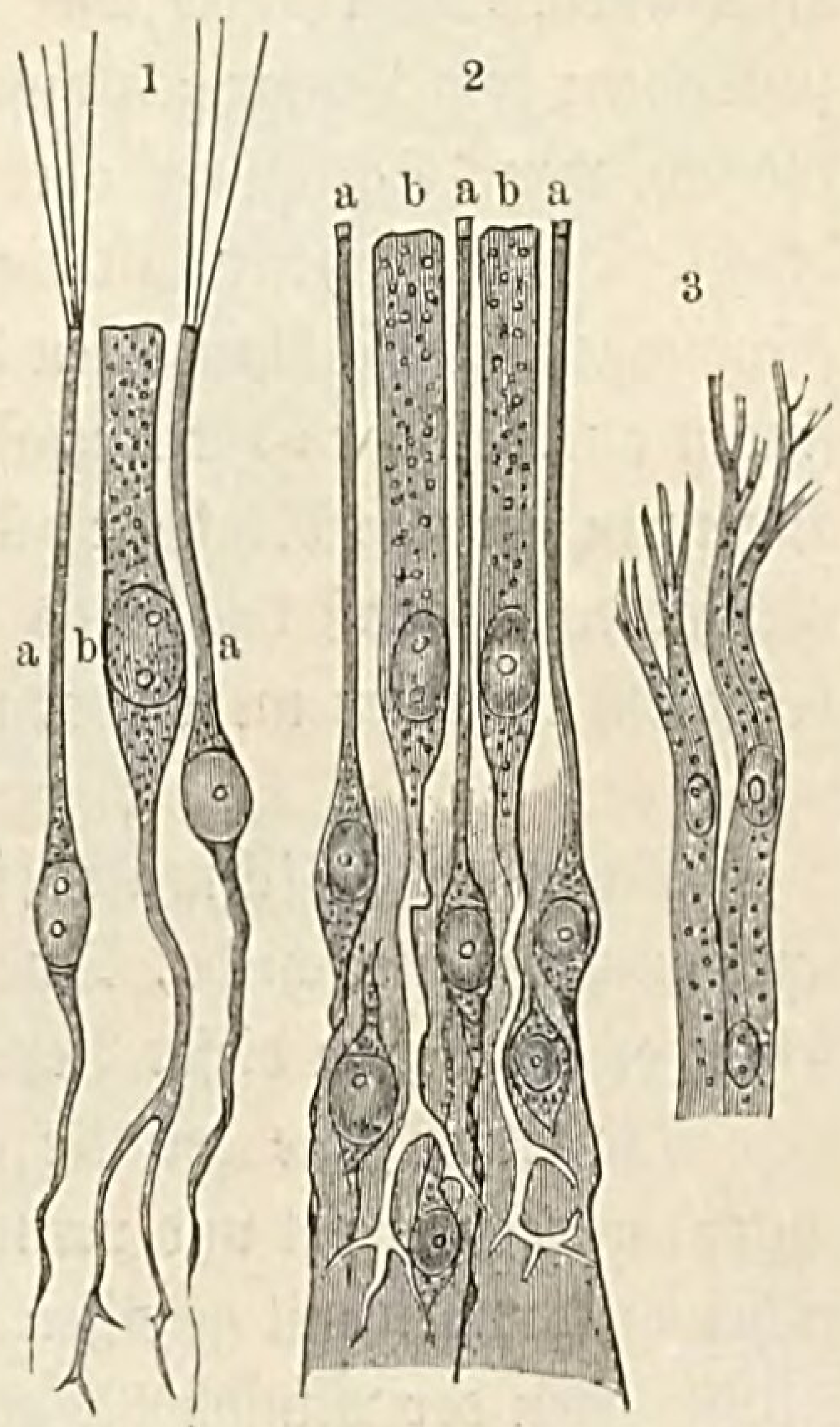
Die spezifische Sinnesthätigkeit, welche wir subjektiv als Riechen bezeichnen, ist normal durch Erregung der im Inneren der Nase befindlichen Endigungen des Riechnerven hervorgerufen (s. Abbildung, S. 563). Nur die obersten Teile der die Nasenhöhlen, d. h. den obersten Teil der Nasenscheidewand und die beiden obersten Nasenmuscheln auskleidenden Nasenschleimhaut können wahre Geruchsempfindungen vermitteln, da nur in diesen die Nervenfasern des Riechnerven sich verbreiten. Um die Endorgane der letzteren wirksam zu erregen, müssen zu ihnen gewisse flüchtige oder gasförmige Stoffe und Dämpfe, welche nach Tyndall durch ein besonders starkes Wärmeabsorptionsvermögen ausgezeichnet sind, gelangen, welche bis zu einem gewissen Grade in der die gesunde Nasenschleimhaut feucht erhaltenden Flüssigkeit löslich sind. Sind aber derartige Stoffe in Flüssigkeiten (Wasser) gelöst, mit welchen wir direkt die Nasenhöhlen füllen, wie das z. B. beim Flachliegen auf dem Rücken möglich ist, so erhalten wir keine Geruchsempfindungen. Die Riechstoffe müssen also, wie gesagt, gasförmig der Riechschleimhaut, d. h. den Riechnervenendigungen, dargeboten werden, welche in der eigentlichen Riechschleimhaut an den genannten Teilen der inneren Nase sich befinden. Auch elektrische Erregung der Riechschleimhaut wird behauptet.



Senkrechter Querschnitt durch die Nasenhöhle.

Die eigentliche Riechschleimhaut ist durch eine gelbliche Färbung von der mehr rötlichen Färbung der übrigen Nasenschleimhaut, welche nur eine allgemeine Empfindlichkeit besitzt, ausgezeichnet. Die oberste Schicht der Riechschleimhaut wird durch eine Lage eigentümlich gestalteter, im allgemeinen langgestreckter Zellen gebildet, welche aber eine doppelte Form zeigen. Die einen erscheinen als „Cylinderzellen“, welche verästelte Ausläufer in die Tiefe der Riechschleimhaut hinabsenden, es sind die sogenannten Stützzellen; zwischen diesen, und von ihnen gleichsam gestützt, finden sich die eigentlichen, von Max Schulze entdeckten Riechzellen (s. Abbildung, S. 563). Es sind langgestreckte, spindelförmige Zellen mit rundem, hellem Kern und Kernkörperchen. Jede dieser Riechzellen besitzt einen nach aufwärts und einen nach abwärts verlaufenden feineren

Ausläufer. Der erstere, etwas dickere steigt zwischen den „Stützzellen“ nach aufwärts und endigt mit einem quer abgestutzten Ende an der äußersten Oberfläche der Zellenschicht, welche die Riechschleimhaut überkleidet. Bei den Vögeln und Amphibien sind diese freien Enden der Riechzellen mit feinen Riechhärchen besetzt, welche dem Menschen wie allen Säugetieren fehlen sollen. Der zweite, nach abwärts in die Tiefe der Schleimhaut gewendete Fortsatz der Riechzellen ist sehr fein und gibt sich als ein feinstes Nervenfäserchen zu erkennen, welches als dem Riechnerven (Nervus olfactorius) zugehörig angesprochen wird, dessen Fasern zunächst unter der eben geschilderten Zellenschicht ein feines Maschenwerk bilden. „Man hat gefunden, daß die äußerste Oberfläche der Riechschleimhaut noch mit einem feinsten, glashellen Häutchen vollkommen überkleidet und gegen die Einwirkungen der Außenwelt damit gewissermaßen abgeschlossen ist; nur die äußersten Enden der Riechzellen durchbohren diese feine Deckschicht in kurzen Kanälchen und endigen frei an der Oberfläche.“



Endigungen des Riechnerven.
Zelle der Riechschleimhaut: 1) vom Frosch, 2) vom Menschen (a Riechzellen, b Stützzellen); 3) Nervenfasern der Geruchsnerven vom Hunde.

Eine charakteristische Unsicherheit herrscht bei den Geruchsempfindungen ganz im allgemeinen in der Unterscheidung verschiedener Riecheindrücke, d. h. die Geruchsempfindung hat keine genauer definierbaren „Qualitäten“. Wir unterscheiden und bezeichnen sie nur scharf nach den verschiedenen uns bekannten Stoffen, welche die besonderen Geruchsempfindungen hervorrufen. Wir werden sehen, daß das bei den andern Sinnesorganen ganz anders ist. Um scharf riechen zu können, muß die Nasenschleimhaut gesund und normal sein; jedermann kennt die Störungen der Geruchsempfindungen durch leichte katarrhalische Entzündungen und Schwellungen der Nasenschleimhaut wie auch bei zu trockner Nase; auf dem letzteren Umstande beruht zum Teil auch die Schwächung des Riechvermögens im Alter. Überhaupt kommen aber stärkere Geruchsempfindungen nur dann zu stande, wenn die riechenden, gasartigen Substanzen in einem Luftstrom mehr oder weniger rasch in die Nase eingezogen werden, wie wir das bei dem Spüren der Jagdhunde angewendet sehen. Eine in der Nasenhöhle ruhig stagnierende Luftschicht erregt keine Geruchsempfindung, ebensowenig riechen wir, wenn ein riechender Luftstrom dauernd von der Mundhöhle in die Nase steigt, da wir gewöhnlich nicht dauernde Zustände, sondern normal nur Veränderungen in dem Erregungszustande unserer Sinnesnerven zu empfinden vermögen. Es bricht sich bei dem raschen Einziehen der Luft in die Nase der Luftstrom teilweise an der unteren Nasenmuschel und steigt auf diese Weise wenigstens zum Teil als Luftbewegung zu der Geruchsschleimhaut empor. Verschiedene Stoffe erregen bekanntlich in sehr verschiedener Stärke unseren Geruchssinn. Je mehr von dem riechbaren Stoffe in der in die Nase einzuziehenden Luft enthalten ist, desto stärker ist im allgemeinen die Geruchsempfindung. Eine Luft, welche in 1 ccm noch $1/30000$ Brom enthält, riecht noch nach demselben. Für Moschus bedarf es zur Hervorbringung einer Geruchsempfindung weniger als $1/2000000$ mg eines weingeistigen Moschusextrakts. Der Geruch der Metalle scheint wie der der Elektrizität von Ozon herzurühren.

Wie bei den Bewegungsnerven, so stoßen wir auch bei den Empfindungsnerven auf wahre Ermüdungserscheinungen. Dauert ein Geruchseindruck sehr lange an, so verschwindet endlich die Geruchsempfindung für den beständigen Geruch, ohne daß dadurch die Fähigkeit für das Erkennen anderer Gerüche abnimmt. Man hat Wahrnehmungen gemacht, welche darauf deuten, daß auch

durch eine direkte Reizung des „inneren Geruchsorgans“ im Gehirn Geruchsempfindungen, denen dann also kein äußeres riechbares Objekt entspricht, hervorgerufen werden können: subjektive Gerüche. Bei einem Manne, der immer einen übeln subjektiven Geruch empfunden hatte, fand sich, wie J. Müller berichtet, ein Erkrankungsherd in den Hemisphären des Großhirns. Oft beruhen aber gewiß derartige scheinbar subjektive Gerüche auf einer krankhaften Steigerung der Empfindlichkeit der Geruchssinnsapparate, welche objektiv vorhandene, aber sehr schwache Gerüche, die ein Gesunder nicht bemerkt, noch wahrnehmen.

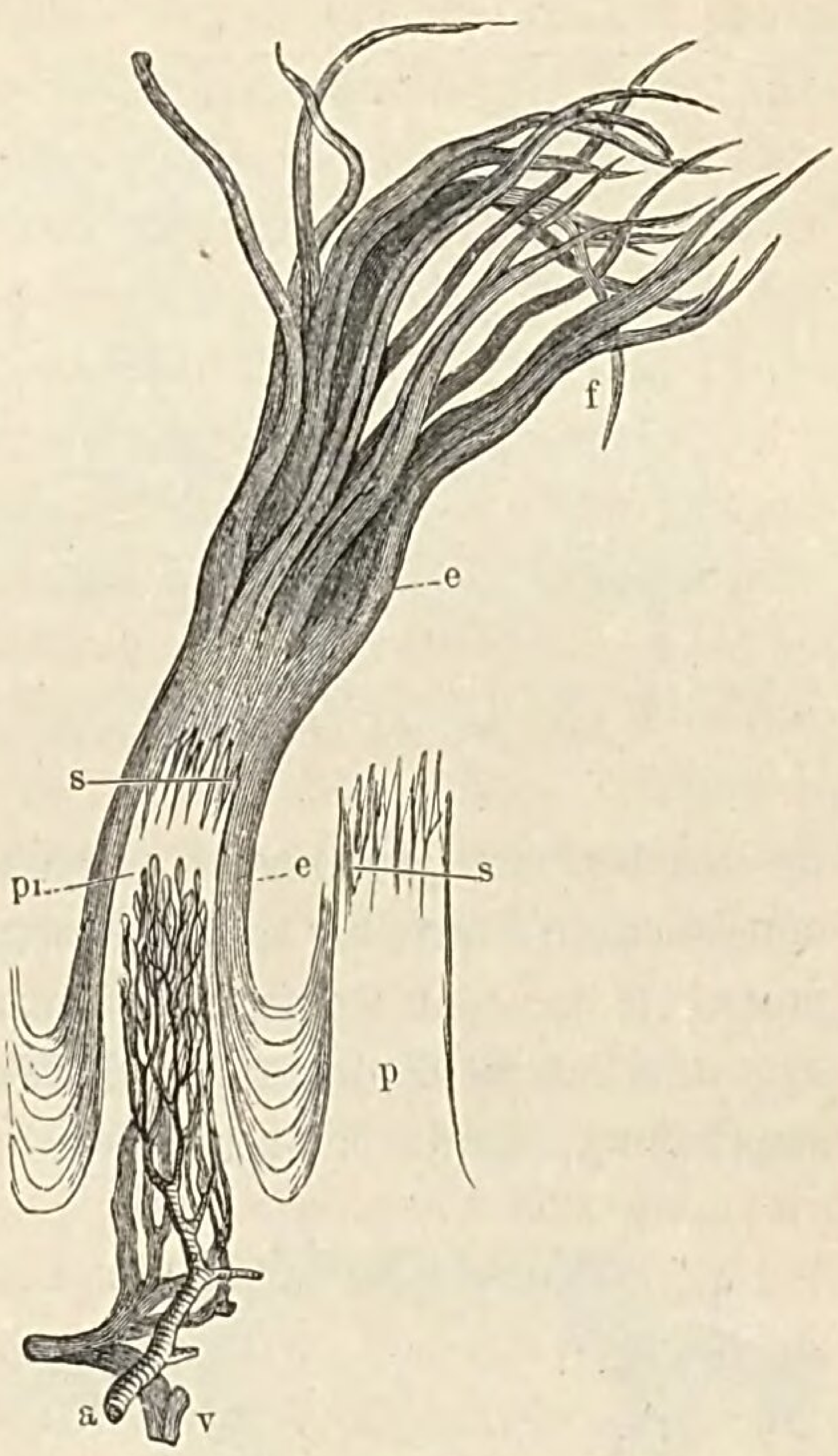
Alle Sinnesempfindungen besitzen zwei subjektive Qualitäten: angenehm und unangenehm. Die Einteilung der Gerüche wie die der anderen Sinneseindrücke in angenehme und unangenehme beruht zum Teil auf Vorstellungen, die sich an die Geruchsempfindungen anschließen. In wunderlicher Weise wechseln diese Vorstellungen mit den allgemeinen Körperzuständen: dem Hungrigen duftet eine Speise äußerst angenehm in die Nase, während der gleiche Geruch, wenn Sättigung, oder noch mehr, wenn Übersättigung eingetreten, Widerwillen, ja Ekel erregt. Der Geruchssinn ist die Quelle einer großen Menge angenehmer und unangenehmer Empfindungen. Diese üben einen lebhaften Einfluß auf unser gesamtes körperliches, ja geistiges Befinden aus. Aber in der Auffassung von Gerüchen als angenehm oder unangenehm herrscht keine allgemein für alle Menschen gültige Gesetzmäßigkeit, verschiedene Personen zeigen sich hierin total verschieden, so daß das, was als angenehmer oder unangenehmer Geruch bezeichnet wird, fast bei jedem einzelnen mehr oder weniger verschieden ist.

Schon der Geschmackssinn zeigt sich in der Anerkennung gewisser feststehender, allgemein anerkannter Unterschiede, Qualitäten der spezifischen Sinnesempfindung, dem Geruchssinn überlegen, der in dieser Beziehung eine ganz besondere niedrige Stellung einnimmt.

Die Endorgane der Geschmacksnervenfasern (über Geschmacksnerven vergleiche man unten) werden erregt und vermitteln eine Geschmacksempfindung dadurch, daß sie in direkte Berührung kommen mit gewissen Substanzen, die das Gemeinsame besitzen, sich in Wasser und den Flüssigkeiten der Mundhöhle aufzulösen. Wie gesagt, erkennen alle Menschen mit normalen Geschmackswerkzeugen bei den Geschmacksempfindungen ganz bestimmte Unterschiede, Qualitäten, an; diese verschiedenen Geschmacksqualitäten sind: süß, sauer, salzig und bitter. Freilich sind physikalisch oder chemisch diese Geschmacksqualitäten im einzelnen noch nicht näher zu definieren. Übrigens erregen die meisten schmeckenden Substanzen Mischempfindungen der genannten Qualitäten, die wir sehr scharf zu trennen vermögen; wir schmecken deutlich die verschiedenen Qualitäten heraus, aus denen sich die gemischte Geschmacksempfindung zusammensetzt. Außer den genannten Hauptqualitäten der Geschmacksempfindungen benutzen wir aber auch, wie bei der Nase, bestimmte Geschmacksmischempfindungen, die von gewissen Substanzen hervorgerufen werden, zur Bezeichnung des bestimmten Geschmacks. Die verschiedenen Geschmacksempfindungen, welche eine Substanz erregt, lassen so scharfe Erkennung und Scheidung zu, daß wir unter Umständen mit der Zunge eine genauere chemische Untersuchung von Flüssigkeiten machen können als nach den gebräuchlichen Methoden der Chemie, welche noch wägbare Mengen der zu bestimmenden Stoffe voraussetzen. Bekannt ist die Genauigkeit des Resultats, welche freilich ein sehr geübtes Organ voraussetzt, bei dem „Kosten“ der Apotheker, Wein- und Bierkenner.

Die Mundhöhle und in dieser vor allem die Zunge ist der allbekannte Sitz des Geschmacksvermögens. Mit Geschmack begabt erscheinen bei näherer Prüfung: die Zungenspitze, die Zungenränder und die Oberfläche der Zungenwurzel; die untere Zungenfläche ist ohne Geschmacksvermögen, abgesehen von den Randpartien, ebenso das Zungenbändchen; dagegen werden dem weichen Gaumen schwächere Geschmacksempfindungen zugeschrieben.

Die Oberfläche der Zunge zeigt sich, z. B. bei Selbstbeobachtung im Spiegel, mit zahllosen Wärzchen, den **Zungenwärzchen**, bedeckt (s. untenstehende Abbildung). Weitaus die meisten haben eine fadenförmige Gestalt, es sind die **fadenförmigen Zungenwärzchen**. Zwischen diesen treten aber auch solche mit einem etwas verdickten äußeren Ende, die **pilzförmigen Zungenpapillen**, auf, die man auch keulenförmig nennen könnte. Eine kleine Anzahl (6—12) derartige, aber noch breitere und im allgemeinen massigere Wärzchen stehen auf dem hinteren Abschnitt des Zungenrückens in der Form eines V angeordnet, indem sie in zwei Linien von den beiden Zungenrändern gegen die Mitte nach hinten zu konvergieren. Sie tragen, da jede von ihnen noch durch einen kreisförmigen, schmalen Schleimhautwall umgeben ist, den Namen **Wallwärzchen** oder **wallförmige Zungenwärzchen** (s. Abbild., S. 566, unten). In diesen und in den pilzförmigen Zungenwärzchen hat man die Endorgane des Geschmackssinnes, die **Schmeckbecher**, nachgewiesen (s. Abbild., S. 566, oben, Fig. 1). Diese kleinen, becherförmigen Organe liegen in flaschenförmigen Lücken des umgebenden Gewebes, ihre Länge beträgt etwa 0,08 mm, ihre Dicke nur halb soviel, ihre Mündungsöffnung im Mittel 0,004 mm. Bei dem Menschen umziehen zu vielen Hunderten in einer gürtelförmigen Zone diese Schmeckbecher die Seitenflächen der Wallwärzchen, aber auch an der der Wallpapille zugewendeten Innenfläche ihres „Walles" sowie an den pilzförmigen Papillen und am weichen Gaumen hat man sie gefunden (s. die Abbildungen, S. 566). Die mikroskopischen Bauverhältnisse erinnern in den Schmeckbechern einigermaßen an die uns von der Riechschleimhaut bekannten. Auch hier unterscheiden wir im allgemeinen cylinderförmige „Stützzellen", welche die Wand des kleinen Bechers hauptsächlich bilden, und zwischen ihnen die **Schmeckzellen** (s. Abbild., S. 566, oben, Fig. 2), die im Bau den Riechzellen etwas ähneln; sie sind, wie jene, langgestreckte, spindelförmige Zellen mit großem Kern und Kernkörperchen mit zwei feineren Ausläufern. Der eine der letzteren ist nach oben gerichtet, etwas breiter und dicker, annähernd cylindrisch, oben in der Regel schräg abgestumpft und mit einem feinen Härchen oder Stiftchen besetzt, welches die Mundöffnung des Schmeckbechers erreicht, so daß die schmeckbaren Flüssigkeiten direkt mit ihm in Wechselbeziehung treten können. Der nach unten gewendete feinere Fortsatz der Schmeckzelle charakterisiert sich als eine feinste Nervenfaser, welche, wie man annimmt, dem **Geschmacksnerven** (Nervus glossopharyngeus) zugehört. Das sensible Ende der Geschmacksnervenfaser entspricht also im Bau im allgemeinen dem der Geruchsnervenfaser; wir werden finden, daß das Gleiche in gewisser Weise auch Geltung für die Sinnesnervenenden im Auge und teilweise auch im Ohre behält.

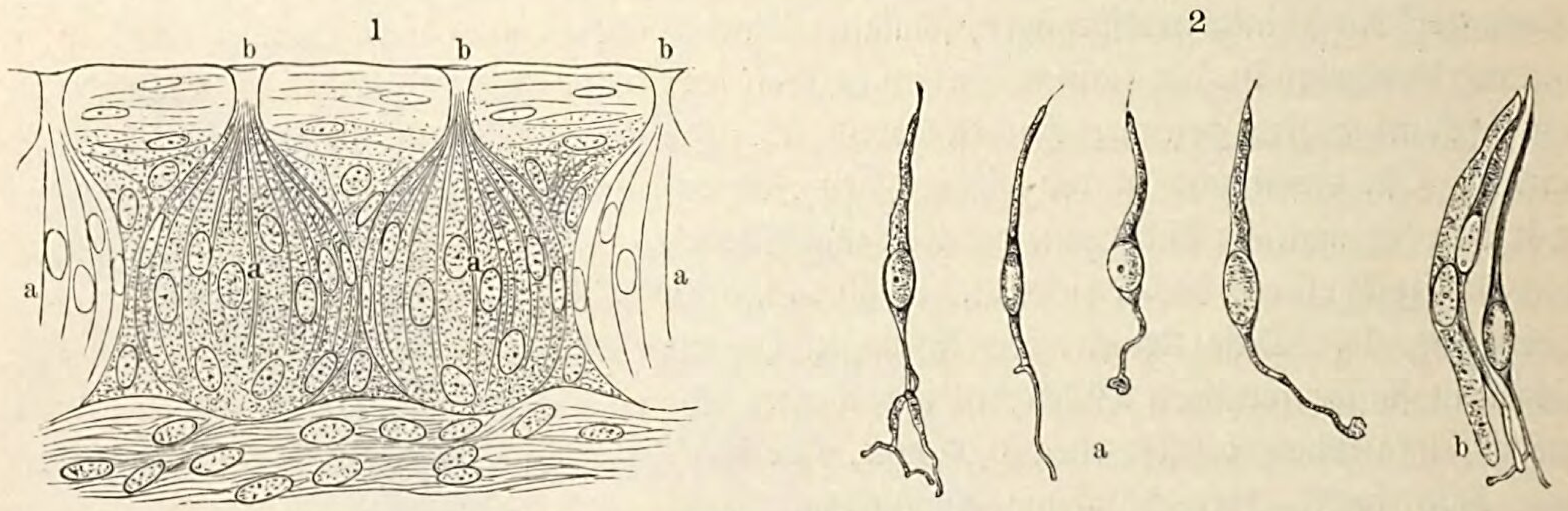


Zwei fadenförmige Zungenwärzchen, vergrößert. p) Primäre Wärzchen, bei s in zahlreiche sekundäre Wärzchen ausgehend: p) ohne, p1) mit der mit fadenförmigen Fortsätzen f versehenen Epithelbekleidung e; a) arterielles und v) venöses Gefäßchen mit dem gröberen Teile des Haargefäßnetzes.

Was für innere, in der Schmecknervenerregung gelegene, resp. von den schmeckbaren Substanzen durch chemisch-physikalische Einwirkungen bedingte Ursachen die bekannten Qualitäten der Geschmacksempfindung hervorrufen, ist unbekannt. Man hat und gewiß zum Teil mit einem gewissen Recht an elektrische Strömungen gedacht, welche die schmeckenden Stoffe mit der

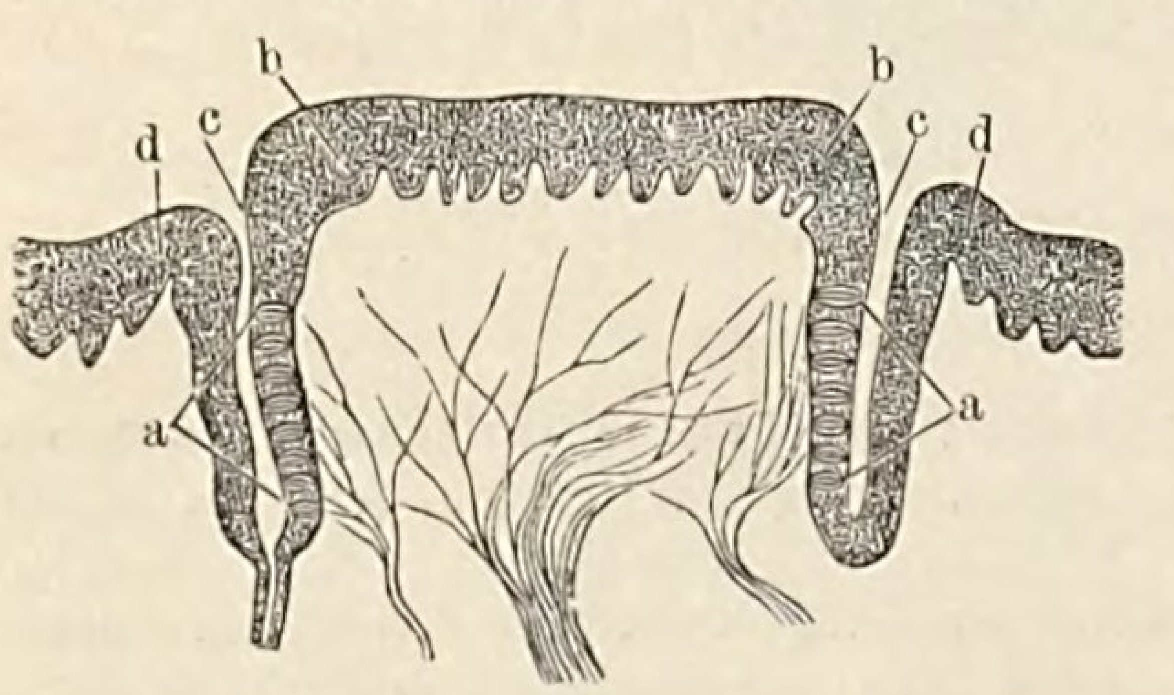
Mundflüssigkeit erzeugen (am positiven Pole des elektrischen Stromes scheidet sich Säure, am negativen Alkali ab); aber das erklärt doch noch keineswegs, warum so verschiedene Stoffe wie Zucker, Glycerin, Glycin, Bleisalze süß, dagegen Chinin, Bittersalz und andere bitter schmecken.

Wie bei der Geruchserregung, so kommt auch die Stärke der Geschmackserregung den verschiedenen schmeckbaren Stoffen in sehr verschiedenem Grade zu. Die verschiedene Löslichkeit der Stoffe in Wasser gibt an sich keinen Maßstab für ihre Schmeckbarkeit: manche sehr leicht lösliche Stoffe schmecken wenig, manche schwerer lösliche viel stärker. Am stärksten schmeckt, d. h. erregt



1) Schmeckbecher vom Kaninchen: a) Becher, b) Becheröffnungen. 2) Geschmackszellen oder Schmeckzellen: a) einzelne Geschmackszellen, b) eine Geschmackszelle mit zwei Stützzellen. Alles stark vergrößert. Vgl. Text, S. 565.

im verdünntesten Zustande die Geschmacksnerven der Zuckersirup, dann folgen mit immer mehr abnehmender Stärke der Geschmackserregung: Zucker, Kochsalz, Aloe-Extrakt, Chinin, Schwefelsäure. Je nach dem Konzentrationsgrade der Lösung wächst in einem bestimmten Verhältnis für eine und dieselbe Substanz die Stärke, Intensität, der durch sie hervorgerufenen Geschmacksempfindung, ebenso mit der Größe der von der schmeckbaren Substanz berührten schmeckenden Fläche und anfänglich auch mit der Zeitdauer der Einwirkung, auch mit Einreiben in die Zunge. Später tritt auch bei den Schmecknerven Ermüdung für den dauernden Reiz ein. Es bedarf einer gewissen Zeit, bis eine Geschmackserregung empfunden wird; diese Zeit ist kürzer beim Salzigen, dann folgen süß, sauer, bitter. Die Feinheit des Geschmacks leidet, abgesehen von seiner Ermüdung, durch Trockenheit der Zunge und durch entzündliche Veränderungen, namentlich Schwellungen ihrer Schleimhaut; dasselbe thun direkt einwirkende Kälte- und höhere Wärmegrade.



Ein Wallwärzchen vom Kalb, senkrecht durchschnitten, vergrößert: a) Reihen von Schmeckbechern, b) Wallwärzchen, d) Wall, welcher das Wallwärzchen umgibt, c) Wallgraben. Vgl. Text, S. 565.

Der Nachgeschmack entsteht wohl weit seltener durch indirekte Reizung vom Blute aus, in welchem der schmeckende Stoff enthalten ist; gewöhnlich beruht er auf Zurückhaltung stark schmeckender Substanzen in den Wallgräben, welche die Wallwärzchen umgeben, oder in den Zwischenräumen zwischen den anderen Zungenwärzchen. Der Nachgeschmack ist auch zum Teil eine Art Ermüdungserscheinung, bei welcher zuletzt nur noch der am längsten und stärksten reizend wirkende Schmeckstoff empfunden wird. Dahin gehören auch die Nachempfindungen beim Schmecken. Das Schmecken einer Substanz verändert den Geschmack einer anderen. Der Geschmack des Käses erhöht den des Weines, während der des Süßen ihn im allgemeinen verdirbt. Rezeptierkunst und Kochkunst haben eine Harmonielehre der Geschmacksempfindungen praktisch ausgebildet, ohne daß wir sie bis jetzt schon wissenschaftlich begründen könnten. Bekanntlich ging

einst ebenso bei Malerei und Musik die Praxis der Theorie voraus. Auch subjektive Geschmäcke, entsprechend den oben erwähnten subjektiven Gerüchen ohne äußeres, das Sinnesorgan reizendes Objekt, lediglich aus inneren, im Gehirn wirkenden Ursachen hat man beobachtet.

Der Tastsinn (Hautsinn) und die Allgemeinempfindung.

Die Verhältnisse der Sinnesempfindungen bei Geruchs- und Geschmackssinn sind fast so einfach als möglich. Wir haben sie deshalb zur einleitenden Darstellung gewählt. Bei dem Hautsinn zeigen sich schon manche Komplikationen, welche jene Einfachheit für den ersten Blick zu verdecken geeignet sind. Es ist das namentlich insofern der Fall, als die Haut eine Anzahl so verschiedener Empfindungen zu vermitteln vermag, daß sie uns nicht als Qualitäten eines spezifischen Empfindungskreises (wie verschiedene Gerüche, verschiedene Geschmäcke) erscheinen, sondern als total verschiedene Empfindungen. Was hat die Tastempfindung mit der Wärmeempfindung Gemeinsames? Und wie außerordentlich different werden die Gefühlseindrücke von der Haut aus je nach der Art und Weise der zeitlichen Einwirkung der Hautreize; das schwirrende Gefühl, welches eine angeschlagene, leicht gegen die Fingerspitze gehaltene Stimmgabel hervorruft, bringt ein der „schwirrenden" Gehörsempfindung vergleichbares Gefühl hervor; etwas langsamer, aber noch immer rasch sich folgende Hautreize werden als Kitzel, dauernd einwirkende als Druck empfunden. Und dann alle die Schmerz- und Lustgefühle, von der Haut aus erregt, welche uns beweisen, daß die Urqualitäten aller Empfindung: angenehm und unangenehm, vor allem für die Hautempfindung Geltung haben.

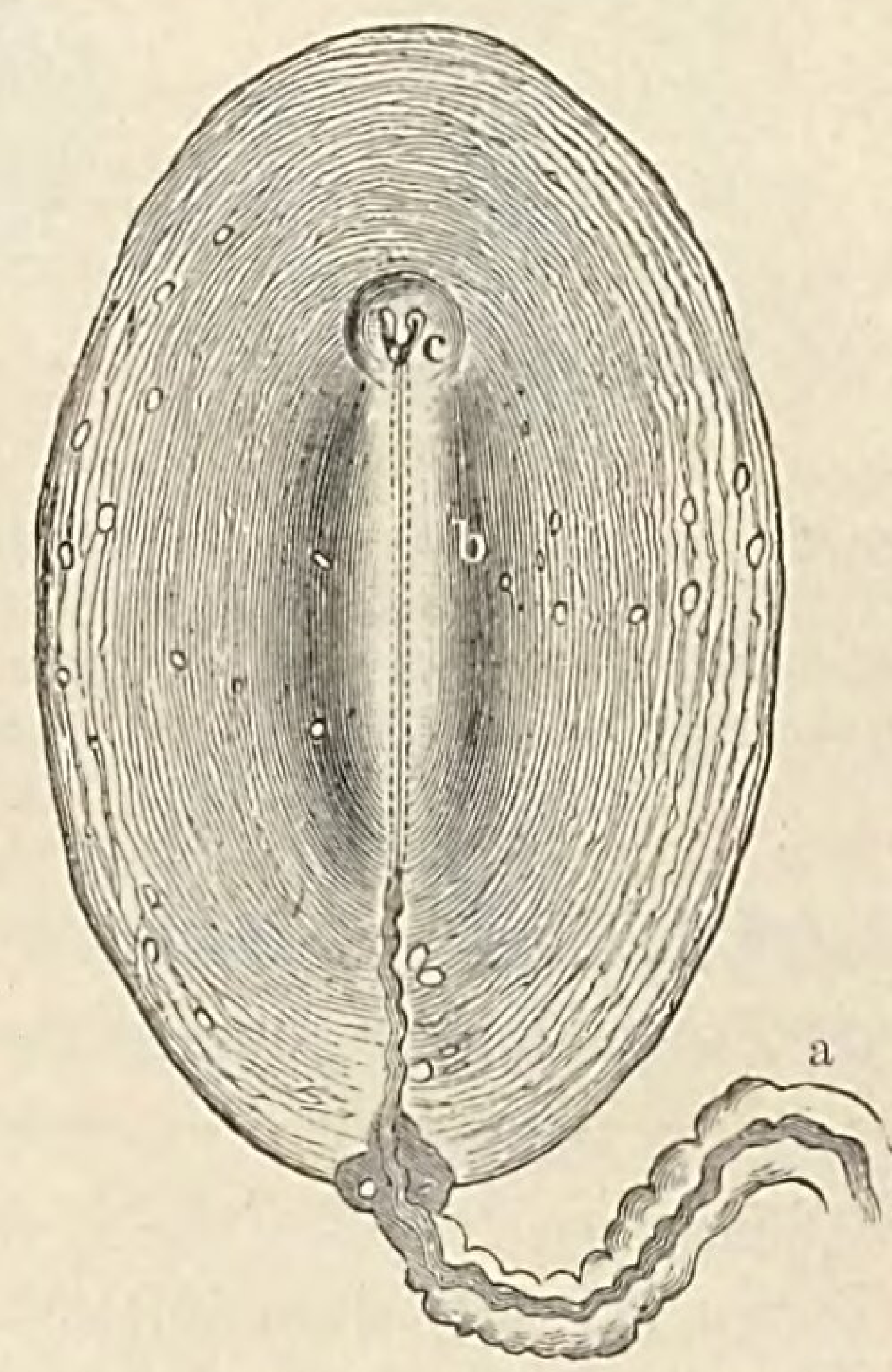
Da wir uns aus der Entwickelungsgeschichte erinnern, daß sich das Zentralnervensystem und die Oberhaut aus gemeinsamer Anlage entwickeln, und daß alle die vom Hautsinn verschiedenen Sinnesempfindungen (Geruch, Geschmack, Gehör, Gesicht) auf der Bildung von Sinnesorganen beruhen, welche sich aus bestimmten Stellen der Oberhaut abgegliedert haben, so kann es uns nicht wundernehmen, daß die Haut, das Ur- und Hauptsinnesorgan, auch für alle die spezifischen „Reize", welche die einzelnen anderen Sinnesorgane als spezifische Sinnesreize aufzufassen vermögen, empfindlich ist. Im Hautsinn schlummern gleichsam die Anlagen zu allen verschiedenen Sinnesempfindungen, wie sich ja wirklich primär bei der Entwickelung die Sinnesorgane alle, mit Einschluß der inneren Sinnesorgane im Zentralnervensystem, aus dem primitiven Hautorgan der Fruchtanlage gleichsam abspalten. Dieser ursprüngliche Zusammenhang spricht sich, wie gesagt, bei dem Erwachsenen darin aus, daß die Haut für alle die „spezifischen Sinnesreize", außer für mechanische und elektrische Einwirkungen auch für chemische Reize, für Äther- und Luftschwingungen (Wärme, Licht und Schall), empfindlich ist. Die Art und Weise, wie diese Reize von der Haut aus empfunden werden, ist freilich eine andere, als wir sie als spezifische Sinnesempfindungen von den „höheren Sinnesorganen" aus kennen; nur zwischen gewissen Tastempfindungen und gewissen Gehörsempfindungen bestehen, wie erwähnt, nähere Ähnlichkeiten. Die Empfindungen der Ätzung und des Kitzels durch chemische Hautreize sind wesentlich verschieden von den Geruchs- und Geschmacksempfindungen, und die Empfindungen der „Ätherwellen" durch die Haut und das Auge sind so verschieden, daß wir, obwohl beide auf demselben qualitativen Nervenreiz beruhen, die in der Haut durch Ätherwellen hervorgerufenen Empfindungen als Wärme, die in dem Auge hervorgerufenen als Licht bezeichnen; physikalisch beruht die äußere erregende Ursache für beide Empfindungen auf Ätherbewegungen, die sich nur durch die Anzahl der in einer bestimmten Zeit erfolgenden Wellenschwingungen unterscheiden, Unterschiede, die in gewissen Grenzen

uns das Auge als Farbenunterschiede des Lichtes bezeichnet. Nirgends tritt uns deutlicher als bei dieser Betrachtung der vorwiegend subjektive Gehalt unserer Sinnesempfindungen entgegen.

Wenn aber auch die Haut das Ur- und Hauptsinnesorgan unseres Körpers ist und die lebhaftesten Empfindungen vermittelt, so fehlt doch auch den inneren Organen unseres Körpers die Empfindlichkeit nicht ganz; im gesunden Zustande ist sie freilich so außerordentlich viel geringer als die Hautempfindlichkeit, daß sie gegen diese fast verschwindet. Die Empfindungen der inneren Organe gehören teils in die Gruppe der Tast-, teils in die der Temperaturempfindung, entsprechen hierin also ganz den beiden Hauptqualitäten des Hautsinnes. Die Sehnen, Knorpel, Bindegewebe sowie das Fettgewebe sind der Hauptmasse nach normal so gut wie unempfindlich, die Knochen wenigstens für schwächere Reize; in krankhaften Zuständen können jedoch alle diese Organe, am lebhaftesten aber die Knochen, Schmerz erregen. Überhaupt kommt bei den inneren Organen vor allem das Schmerzgefühl deutlich zum Bewußtsein. Ein ganz gesunder Mensch wird kaum durch eine Empfindung über seine innere Körperanatomie, z. B. über die Lage seines Herzens, der Lungen sowie der anderen Eingeweide, unterrichtet, während infolge von Krankheiten der inneren Organe das Bewußtsein von ihnen genaue Kenntnis erlangt. Es rührt das übrigens zum Teil daher, daß wir über geringere innere Empfindungen uns wenig Rechenschaft zu geben pflegen; vorhanden sind sie stets und dienen uns wesentlich in verschiedener Beziehung. Das allgemeine körperliche Wohlbefinden beruht, wie das Gefühl der allgemeinen Abgeschlagenheit und krankhaften Schwäche, der Hauptsache nach auf „inneren Empfindungen", das normale Befinden unserer inneren Organe macht sich als allgemeines Wohlgefühl geltend und umgekehrt. In den Gelenken erregen die Knochen, Sehnen und Bänder stets lebhaftere Gefühle, und die Muskelempfindlichkeit dient uns wie ein eigener Sinn, dem man wohl den Namen Muskelsinn beigelegt hat. Er unterrichtet uns in Verbindung mit dem Gelenkssinn nicht nur stets von der jeweiligen Lage unserer Glieder und Hautstellen zu einander, sondern es sind auch die Muskeln, vermittelst welcher wir den Grad der Anstrengung bemessen, welcher erforderlich ist, um den uns geleisteten Widerstand zu überwinden; in diesem Zusammenhang sprechen wir von Kraftsinn. Durch das Gefühl der Ermüdung geht das Muskelgefühl in Schmerz aus. Mit Hilfe des Kraftsinnes allein kann man außerordentlich genau den Unterschied zweier Gewichte bestimmen, man erkennt noch richtig zwei Gewichte als verschieden schwer, die sich zu einander wie 39 zu 40 verhalten. Wir kennen aus Erfahrung den Grad von Anstrengung der Muskeln, welcher erforderlich ist, um unsere Glieder in eine gewisse Lage zu versetzen und sie darin zu erhalten, so genau, daß wir jeden Augenblick durch den Zustand der Anstrengung der Muskeln, in dem sich diese gerade befinden, unterstützt durch die Gelenkempfindlichkeit, anzugeben vermögen, in welcher Stellung unsere Glieder gegeneinander stehen, auch ohne daß wir sie sehen oder daß sie sich gegenseitig berühren. Diese Kenntnis von der jeweiligen Lage der Glieder zu einander kann ebenso zur Größen- und Gestaltswahrnehmung mit beiden Händen ergriffener Gegenstände benutzt werden wie zur Erhaltung des Gleichgewichtes beim Stehen und Gehen, wofür übrigens bei manchen Tieren, namentlich in den eigentümlichen Sinnesorganen der Saitenlinie der Fische, eigene Sinnesorgane (Organe des Leydigschen sechsten Sinnes) angesprochen werden; auch bei dem Menschen hat man den halbzirkelförmigen Kanälen des Ohrlabyrinths diese spezifische Funktion als Gleichgewichtssinnesorgane zugeschrieben. Die Feinheit und Sicherheit der Muskelzusammenziehung, beruhend auf den genannten Ursachen, welche zweifellos (wenigstens die vorläufige Schätzung des zur geforderten Muskelaktion nötigen Antriebes vom Nerven aus) teilweise im Gehirn zu stande kommen, überrascht am meisten bei der unten zu besprechenden Ton- und Buchstabenbildung im Kehlkopf und der Mundhöhle beim Singen und Sprechen.

Die größte Anzahl aber der empfindlichen Nerven endet in der Haut. Wie gesagt, sind es zwei wesentlich verschiedene Empfindungen, die wohl zwei verschiedenen spezifischen Energien der grauen Rinde des Großhirns zugeschrieben werden dürfen, welche durch die Haut vermittelt werden: Druckempfindung und Temperaturempfindung. Von den Lust- und Schmerzempfindungen der Haut werden die ersteren durch schwächere, unterbrochen einwirkende Reize hervorgerufen, der Schmerz entsteht durch andauernde schwächere oder durch plötzliche einmalige oder auch unterbrochene, intermittierende, starke Erregung. Die durch Elektrizität und chemische Reize der Haut erzeugten Gefühle sind teils Wärmeempfindungen, teils entsprechen sie den Tastempfindungen; sie unterscheiden sich, solange sie schwach sind, von dem durch rasch aufeinander folgende Druckschwankungen erzeugten Gefühl des Kitzels nicht, stärkere Reize bewirken Schmerz.

Als Einzelsinnesorgane in der Haut hat man zwei verschiedene Arten der Nervenendigungen aufgefunden; es sind teils einfache, kolbenförmige Anschwellungen feinster, in den äußeren Zellenlagern der Haut aufsteigender Nervenfäserchen, „Nervenendknöpfchen“, welche zuerst in der Netzhaut aufgefunden wurden. Außerdem finden sich aus Nervenfasern und diese umhüllenden Schutzgebilden bestehende größere und kleinere Sinnesorgane, dem Wesen nach wohl alle gleichgebaut, obwohl sie sich durch Größe und Formumriß immerhin nicht ganz unwesentlich voneinander unterscheiden. Es gehören hierher die mit freiem Auge sichtbaren, 1—4 mm großen Paccinischen Körperchen (s. nebenstehende Abbildung), die unter der Haut in dem Unterhautbindegewebe eingebettet liegen, besonders unter der Haut der Hohlhand und der Fußsohle, außerdem aber auch in beträchtlicher Anzahl an den Gelenknerven und an anderen Orten auftreten. Ihnen ähnlich, aber mikroskopisch klein sind die Tastkörperchen der Haut, welche sich am häufigsten in der Haut der Finger und Zehen, namentlich am äußersten Gliede derselben finden. Ihre relative Häufigkeit auf gleichgroßen Hautflächen verschiedener Körperstellen ordnet sich etwa in der gleichen Reihe, welche wir für die Tastempfindlichkeit der verschiedenen Hautstellen finden werden. Etwas einfacher gebaut sind die in den Schleimhäuten vorkommenden Nervenendkolben. An den menschlichen Fingergelenken finden sich ganz kleine Paccinische Körperchen, etwa zehnmal kleiner als die oben angeführten, welche Glieder zwischen diesen und den Tastkörperchen der äußeren Haut darstellen.

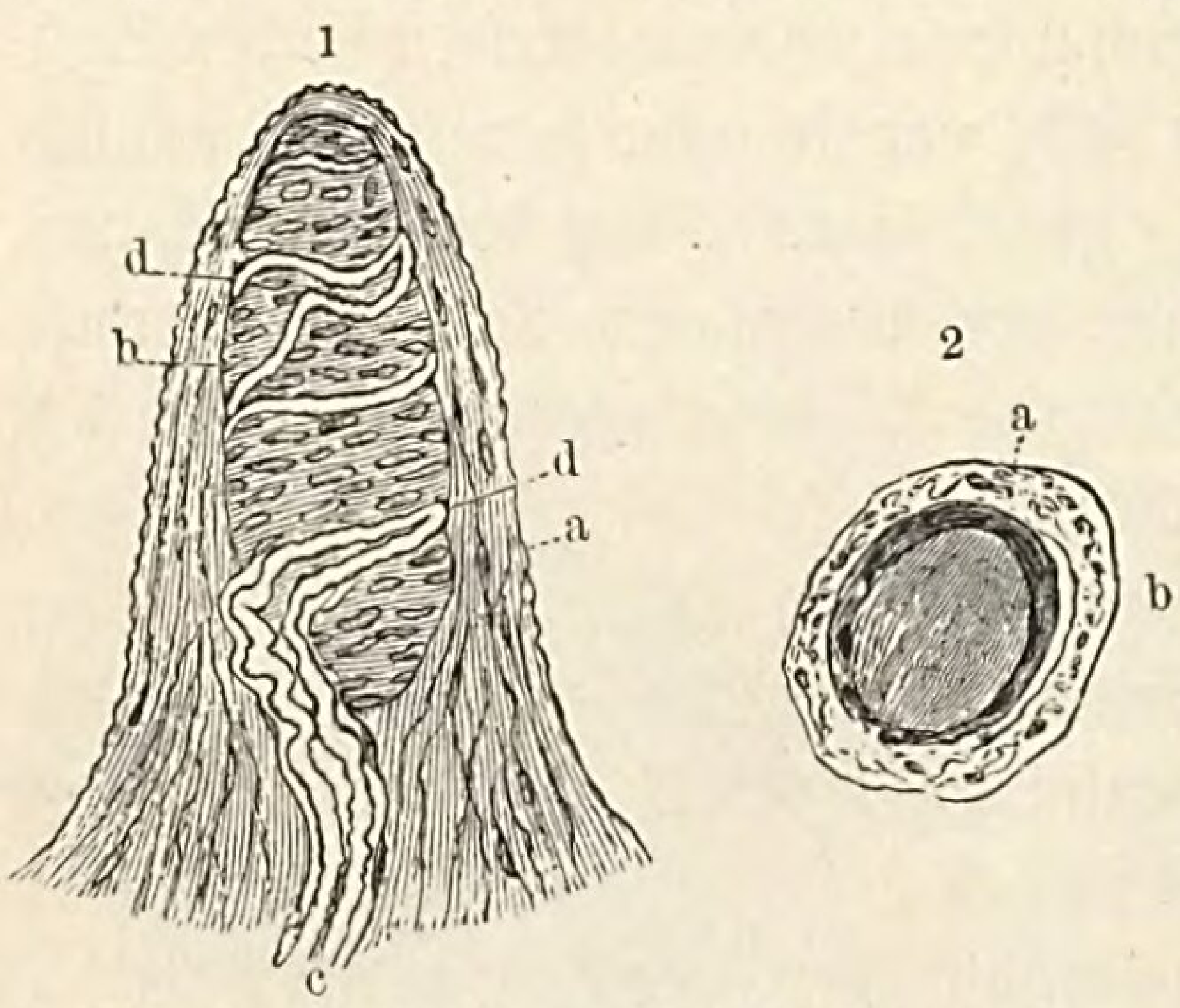


Paccinisches Körperchen aus dem Gekröse der Katze: a) Nervenfaser, b) die geschichtete Kapsel, c) der Innenraum mit dem Nervenende. Stark vergrößert.

Am einfachsten gebaut sind von diesen dem Tastsinn dienenden Sinnesorganen die Nervenendkolben, kleine, ovale oder kugelige Bläschen mit einer bindegewebigen Hülle und flüssigem Inhalt; in diese Bläschen tritt eine Nervenfaser ein und endigt, frei in die mit Flüssigkeit gefüllte Höhle ragend, zugespitzt. Die Tastkörperchen (s. Abbildung, S. 570) sind etwas größere und dickwandigere Bläschen von ovaler Form, mit dem langen Durchmesser senkrecht auf die Hautfläche gestellt; in das Innere gelangt eine beim Eintritt noch markhaltige Nervenfaser, die dann frei mit einer Endanschwellung endigt. Auch die Paccinischen Körperchen (s. obige Abbildung) zeigen ovale Gestalt. In ziemlicher Anzahl umgeben bei ihnen Bindegewebsschichten einen mit einer gleichartigen Flüssigkeit gefüllten inneren Hohlraum, in welchen eine Nervenfaser eintritt, um dort entweder mit einem Knöpfchen oder gabelförmig gespalten zu endigen. Auch hier tritt die Nervenfaser markhaltig an das Körperchen heran, während das freie Nervenende im Bläschenhohlraum nur als ein „nackter Achsencylinder“ erscheint. Alle diese Nervenendigungen

entsprechen in gewissem Sinne den stäbchenförmigen oberen Ausläufern der bisher besprochenen Sinneszellen; der Unterschied ist der, daß (wie auch bei den Stäbchen in der Netzhaut des Auges) die Nervenendstäbchen der Tastorgane direkt, ohne Vermittelung einer kleinen zwischengelagerten Nervenzelle, in die Nervenfaser übergehen, die sich erst in ihrem weiteren Verlauf mit einer Nervenzelle verbindet.

Die verschiedene Feinheit des Tastsinnes und Drucksinnes zur Unterscheidung verschiedener die Haut belastender Gewichte an verschiedenen Hautstellen ist sehr verschieden. E. H. Weber hat messende Versuche hierüber angestellt. Er setzte einen Zirkel mit abgestumpften Spitzen auf die Haut bei geschlossenen Augen und bestimmte für die verschiedenen Hautstellen den Abstand, den beide Zirkelspitzen voneinander haben dürfen, um bei gleichstarkem und gleichzeitigem Anlegen an die Haut noch als eine einzige Empfindung aufgefaßt zu werden; entfernt man die Spitzen nur um ein Minimum weiter, so treten dann zwei Empfindungen, durch welche jede der beiden Zirkelspitzen empfunden wird, auf. Die Feinheit des Gefühles ist in untenstehender Tabelle nach der Entfernung der Zirkelspitzen angegeben, bei welcher eben zwei gesonderte Tastempfindungen auftreten. Die absoluten Werte der Empfindlichkeit schwanken bei verschiedenen Personen, aber das relative Verhältnis der Empfindlichkeit der einzelnen Hautstellen zu einander ist auffallend konstant. Am feinsten ist das Tastgefühl der Zungenspitze, am gröbsten, schlechtesten das der Rumpfhaut.



1) Ein Hautwärzchen mit Tastkörperchen, Längenansicht, vergrößert: a) Rindenschicht des Hautwärzchens, b) Tastkörperchen, c) Nervenstämmchen, d) Nervenfasern. 2) Querschnitt des Hautwärzchens. Vgl. Text, S. 569.

	Entfernung der Zirkelspitzen
Zungenspitze	1 Millim.
Innenfläche des dritten Fingergliedes	2 =
Rote Lippenoberfläche und Innenfläche des zweiten Fingergliedes	4 =
Rückenfläche des dritten Fingergliedes, Nasenspitze und Haut an der inneren Fingerbasis	7 =
Die übrige Zunge außer der Spitze, der nicht rote Lippenrand, die Mittelhand des Daumens	9 =
Spitze der großen Zehen, Rückenfläche der zweiten Fingerglieder, Innenfläche der Hand, Wangenhaut, äußere Oberfläche der Augenlider	11 =
Schleimhaut des harten Gaumens	13 =
Haut über dem vorderen Teile des Wangenbeines, Innenfläche des Mittelfußes der großen Zehe, Rückenfläche des ersten Fingergliedes	15 =
Haut über den Fingerknöcheln	17 =
Schleimhaut am Zahnfleisch	20 =
Haut hinter dem Wangenbein, unterer Teil der Stirn	22 =
Unterer Teil des Hinterhauptes	26 =
Handrücken	28 =
Hals unter dem Unterkiefer, Scheitel	31 =
Haut an der Kniescheibe	35 =
Haut über dem Kreuzbein, auf der Schulter, dem Gesäß, Vorderarm, Unterschenkel beim Knie und Fuß, Fußrücken bei den Zehen	39 =
Auf dem Brustbein	44 =
Am Rückgrat bei den fünf oberen Rückenwirbeln, beim Hinterhaupt, in der Lendengegend	52 =
An der Mitte des Halses, des Rückens, in der Mitte des Armes und des Schenkels	66 =

Diese verschiedenen Entfernungen der Zirkelspitzen von 2—66 mm betragen folgende Längen:

2 Millimeter —— 66 Millimeter

Von jedem Punkte der Hautoberfläche kann man, indem man die eine Zirkelspitze hier ansetzt und mit der anderen Zirkelspitze im Kreise um diesen Mittelpunkt herumgeht, selbstverständlich bei immer gleichzeitiger Aufsetzung der Zirkelspitzen, kleinere oder größere Hautstellen umkreisen, innerhalb welcher die Empfindung der beiden Zirkelspitzen nur als ein einziger Reiz aufgefaßt wird. Das sind die berühmten Empfindungskreise der Haut, welche übrigens an der Haut der Arme und Beine nicht kreisförmig, sondern, der Längsrichtung des Gliedes entsprechend, oval sind. Die Größe dieser Empfindungskreise steht nicht absolut fest, mit der feineren Ausbildung der Hautempfindung, z. B. bei Blinden, werden die Empfindungskreise kleiner, d. h. die Empfindlichkeit an den betreffenden Hautstellen absolut, aber nicht relativ im Verhältnis zu den übrigen Hautstellen größer. Zwei sehr nahe aneinander in der Haut liegende Endigungen von Tastnervenfasern bringen durch das Zentralorgan zwar gesonderte und verschiedene Empfindungen hervor, es ist zwar jede, wie man sich ausdrückt, mit einem besonderen Lokalzeichen versehen, aber diese Unterschiede sind so gering, daß sie nicht voneinander getrennt werden können. Von einem weiter abgelegenen Nervenendorgan ist dagegen die hervorgerufene Empfindung schon so stark verschieden, daß sie auch ohne gesteigerte Empfindungsübung als eine andere, von der ersten verschiedene aufgefaßt werden kann. Die Empfindungskreise haben sonach keine feststehende anatomische Basis, sie können sich mit der Übung verändern; wenn wir uns gewöhnen, auf kleinere Unterschiede in der Empfindung noch zu achten, vermögen wir auch von zwei sich näher liegenden Endorganen noch die Empfindung gesondert aufzufassen. Alle Übung kann aber natürlicherweise den relativen Mangel der Tastkörperchen an den unempfindlichen Hautstellen nicht ausgleichen.

Die Gestalt der uns berührenden oder von uns absichtlich berührten Körper beurteilen wir nach dem verschieden starken, an verschiedenen Orten der Hautfläche einwirkenden Drucke. Rasche Abwechselung von Druck und Druckruhe, welche bei gleichmäßigem Betasten der Gegenstände auffällt, deuten wir als eine gekerbte oder sonst rauhe Oberfläche; eine glatte Oberfläche, über welche wir mit den Tastorganen hingleiten, erregt ein andauernd gleichmäßiges Druckgefühl. Gewisse Veränderungen der Berührungsfläche des betasteten Körpers und unserer Haut während der leicht drückenden Berührung deuten wir als durch Flüssigkeiten oder durch mehr oder weniger weiche Substanzen hervorgebracht; wenn solche Veränderungen mangeln, so schließen wir auf einen harten Körper. Die Größe und Gestalt der Körper messen wir durch den Tastsinn, indem wir über die ganze Ausdehnung ihrer Flächen mit unseren Tastorganen hingleiten, oder indem wir sie ganz umgreifen oder gleichzeitig mit zwei verschiedenen Hautstellen, z. B. mit zwei Händen, betasten; dabei leistet, wie wir sahen, der „Muskelsinn" die wesentlichsten Dienste.

Die Temperaturempfindung, die zweite normal durch die Haut vermittelte Empfindungsqualität, wird, wie es scheint, von spezifischen Nervenendapparaten vermittelt, da ältere und neuere Beobachtungen für die absolute Sonderung des Temperatursinnes von den übrigen Sinnesempfindungen der Haut sprechen. Es kann z. B. der Tastsinn durch krankhafte Veränderungen abgestumpft sein, während der Temperatursinn ungestört erhalten ist. Neuerdings will man beobachtet haben, daß die Haut überall gesonderte Empfindungspunkte für Kälte-, Wärme- und Druckempfindung besitzt, welche jeder auf jede Art von Reiz mit ihrer spezifischen Empfindung antworten. Man unterscheidet Wärme und Kälte als zwei verschiedene Temperaturempfindungen; das gilt aber nur für geringere Temperaturunterschiede, äußerste Kälte und Hitze werden gleichmäßig als schmerzhaftes Brennen gefühlt. Unter der Einwirkung der Kälte auf die Haut ziehen sich die Blutgefäße derselben zusammen, sie verliert ihre normale Schwellung, und dadurch scheint eine mechanische Druckschwankung als Erregungsreiz auf die Temperatur-Nervenendigungen einzutreten; jedenfalls sehen wir im Fieberfrost dasselbe subjektive Kältegefühl mit Zusammenziehung und Entleerung der Hautblutgefäße auftreten, obwohl die

Körpertemperatur, wie das Thermometer zeigt, dabei fieberhaft gesteigert ist. Umgekehrt tritt im Hitzestadium des Fiebers das subjektive Hitzegefühl unter entsprechendem Verhalten der Hautblutgefäße ein, wie es bei äußerer Erwärmung der Haut erfolgt. Die Hautblutgefäße erweitern sich in beiden Fällen, die Gewebsschwellung nimmt zu, und die dadurch erzeugten mechanischen Druckveränderungen auf die Endigungen der Temperaturnerven scheinen als normale Reize derselben aufgefaßt werden zu dürfen. Der brennende Schmerz, den Elektrizität und chemische, ätzende Hautreize hervorrufen, ist von dem durch Hitze erzeugten kaum zu unterscheiden; auch hier tritt als Reizursache veränderte Füllung der Hautblutgefäße auf.

E. H. Weber fand, daß sich die Temperaturempfindlichkeit verschiedener Hautstellen fast ebenso, mit der Zungenspitze beginnend und mit der Rumpfhaut endend, in eine Reihe ordnen läßt wie die Tastempfindlichkeit. Da aber feinere Hautstellen, wie an den Beugestellen der Gelenke, feinere Temperaturempfindung haben als Stellen mit gröberer Oberhaut, so ist die Reihe nach dieser Richtung etwas modifiziert. Hautstellen, deren Oberhaut etwa durch ein Blasenpflaster entfernt ist, sind für Temperaturunterschiede am empfindlichsten. Die Temperaturdifferenzen, welche wir überhaupt noch scharf schätzen können, liegen zwischen +10 und +47° C.; höhere oder niedrigere Wärmegrade werden um so weniger genau geschätzt, je weiter sie sich von diesen Grenzwerten entfernen; endlich erregen, wie erwähnt, sowohl sehr heiße als sehr kalte Objekte gleichmäßig einen brennenden Schmerz. Am feinsten ist das Schätzungsvermögen für Temperaturen, die sich nur sehr wenig von der Normaltemperatur des Menschen unterscheiden, etwa zwischen 27 und 33°.

Je rascher die Wärmeabgabe eines Stoffes ist, desto wärmer oder kälter erscheint er uns; Metall und Stein erscheinen daher bei gleicher Temperatur kälter als Holz oder Gips. Der Effekt jeder sensibeln Reizung nimmt, wie auch der der Temperaturreizung, zu, wenn eine größere Anzahl der spezifisch gleichen Nervenendigungen gleichzeitig von dem gleichen Nervenreiz getroffen wird. Tauchen wir in zwei Gefäße, welche Wasser von gleicher Temperatur enthalten, in das eine die ganze Hand, in das andere nur einen Finger, so scheint das Wasser des ersteren wärmer als das des letzteren zu sein. Man hält, wie E. H. Weber fand, Wasser von +29° R., in welches man die ganze Hand getaucht hat, für wärmer als Wasser von +32° R., in welches man nur den Finger hineinbringt. Den absoluten Grad der Temperatur eines Objekts suchen wir zu schätzen, indem wir sie mit unserer normalen Eigentemperatur (37° C.) vergleichen, wie ein Badediener mit dem geschlossenen Ellbogen (in der geschlossenen Ellbogenbeuge herrscht die Normalkörpertemperatur) das Badewasser auf seine Temperatur zu prüfen pflegt. Im allgemeinen wird bei Gesunden eine Erhöhung der gerade bestehenden Hauttemperatur als Wärme, eine Erniedrigung als Kälte empfunden. Temperaturen unter ca. —10° oder über ca. +47° C. erregen bei längerer Einwirkung Schmerzempfindung.

Der Gehörssinn.

Die Sinne sind die eigentlichen Freudenbringer des Menschen, jeder in verschiedenem Maße für die verschiedenen Lebensalter. Die erste Jugend hat ihre größte Freude an den Empfindungen des Geschmacksinnes; dann suchen der schwärmerische, halb erwachsene Jüngling und die Jungfrau im Duft der Blumen und Blüten freudigen Genuß. Mit dem Ansteigen der körperlichen Entwickelung werden die Hautgefühle und namentlich die inneren Empfindungen, das Bewußtsein der Kraft und der Gesundheit, das nur durch starke mechanische Leistungen der Glieder

und des Gesamtkörpers erreicht und gesteigert wird, zur Hauptfreudenquelle. In dieser Zeit ist die Arbeit an sich Vergnügen, und wir verstehen es, wenn der Bauer, z. B. im wiesenreichen Altmühlthal, sich zur Heuernte, der härtesten Arbeitszeit, die ihm das Jahr bringt, wie zu einem Feste mit reinem Gewande schmückt; überall freut man sich und singt in der Ernte, aus dem Schlage des Dreschers wie des Grobschmiedes klingt als Musik die Freude der rüstigen Arbeit, und der verstaubte Stubenhocker jauchzt auf aus freier Brust, wenn ihn Schweiß und körperliche Mühe in die reinen Lüfte der Berghöhe geführt haben. Dann folgt im Leben des Menschen die Zeit, in welcher der ergrauende Mann durch weise Rede und Gegenrede die Lebensfreuden wesentlich dem Gehörssinn verdankt, und wenn ich nun hier sitze an dem Fenster meiner Hütte, den Blick von dem Blatte aufgeschlagen, hinaus gerichtet zu den grünenden Bergen unter dem himmlischen Blau, und sehe dort mit frohen Gesichtern mein Weib und die Kinder Blumen pflückend in all der bunten Frühlingspracht, so fühle ich, daß das Auge der Freudensinn des Alten ist. Und es lernt ja auch unser Auge, wenn es von den Mühen des Lebens geschwächt war, im Alter wieder weiter und schärfer hinauszublicken, während sonst alle anderen Sinne: Gehörssinn, Geruch und Geschmack, ja selbst das Allgemeingefühl im Alter stumpfer werden. Aber wenn auch der Wert der Sinnesempfindungen in den verschiedenen Lebensaltern verschieden geschätzt werden mag, alle durchklingen mit gemeinsamer Harmonie das menschliche Leben.

Die Welt hat von jeher den feinen Bau der beiden höchsten Sinnesorgane: Ohr und Auge, angestaunt; unsere Vertiefung in die mikroskopisch kleinsten Verhältnisse hat diese Bewunderung nur noch zu steigern vermocht, indem wir den Zusammenhang der Sinnesempfindlichkeit mit dem Bau des empfindenden Organes, wenn nicht zu verstehen, doch zu ahnen beginnen. Letzteres gilt besonders von dem Gehörorgan.

Die Reizungen des Gehörnerven erwecken in uns Schallempfindungen. Die normale Erregung des Gehörsinnes erfolgt durch Erschütterungen elastischer Körper, vor allen der Luft, deren Schwingungen auf das Gehörorgan übertragen werden. Wir haben schon oben darauf hingewiesen, daß, trotzdem die Gehörsempfindung spezifisch von allen Empfindungen, welche andere Sinnesorgane hervorrufen, verschieden ist, doch der normale Reiz des Gehörorgans in freilich schwächeren mechanischen Anstößen wie der normale Reiz des Tastsinnes besteht, und daß der letztere auch die schwingenden Bewegungen etwa einer Stimmgabel oder einer tönenden Saite als eine eigentümliche „schwirrende" Empfindung aufzufassen vermag, welche wir gleichsam als den rohesten Ausgang einer feineren Tonempfindung bezeichnen dürfen. Bei manchen musizierenden Insekten (z. B. Schnarrheuschrecken) scheinen es vornehmlich solche schwirrende Empfindungen zu sein, welche als Lockrufe durch einfache Gehörorgane aufgefaßt werden, die sich nur wenig von den Tastorganen unterscheiden. Auch bei dem Menschen besteht eine gewisse Ähnlichkeit zwischen den Tastkörperchen (Bläschen, mit Flüssigkeit gefüllt, in deren Hohlraum ein „Nervenstäbchen" zu mechanischen Schwingungen befähigt, frei hereinragt) und dem Ohrlabyrinth, einem mit Flüssigkeit gefüllten Hohlraum, in welchen Tausende solcher „Nervenstäbchen" von verschiedener Länge und Dicke, wie die Klangstäbchen einer Glas- oder Stahlharmonika zur Aufnahme verschiedener Schwingungen abgestuft, frei hereinragen.

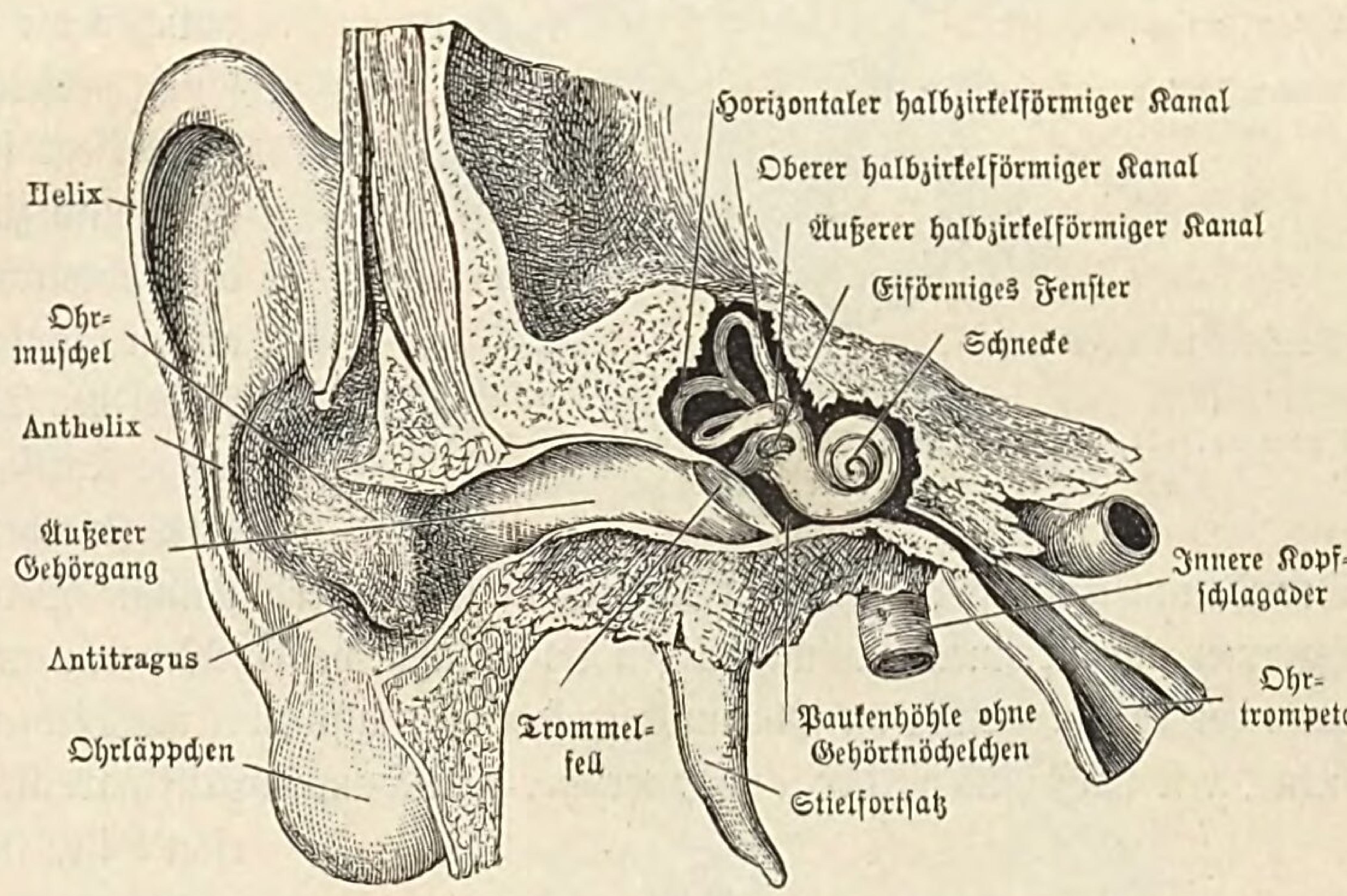
Die Schallschwingungen werden, um Gehörsempfindungen zu erregen, zunächst in verschiedene bestimmte Bewegungen der Schallleitungsapparate des Ohres, wobei das äußere Ohr mit dem Gehörgang als Hörrohr wirkt, umgewandelt und zwar namentlich des Trommelfelles, der dahinter im mittleren Ohr liegenden Gehörknöchelchen, dann des Labyrinthwassers, das die Hohlräume des inneren Ohres erfüllt. Durch die dadurch erzeugten Wellen im Labyrinthwasser wird mechanisch die im Labyrinth verschlossene Nervenstäbchen-Harmonika des Cortischen Organs, die akustischen Endapparate der Gehörnerven, in (tönende) Mitschwingungen versetzt und dadurch

die mit den Endapparaten direkt verbundenen Gehörnervenfasern und die zu ihnen gehörigen zentralen Nervenapparate des Gehörssinnes im Gehirn mechanisch erregt. Den tausendfältig verschiedenen Tonempfindungen scheint eine wenigstens gleiche Anzahl spezifischer Tonempfindungsapparate im Labyrinth des Ohres, eben jene verschiedenen „Nervenstäbchen“ der Nervenstäbchen-Harmonika, zu entsprechen. Man konnte experimentell nachweisen, daß die, ähnlich wie Glasfäden, elastisch-starren, zum Teil ziemlich langen Hörstäbchen, eben unsere mehrfach genannten, frei in das Labyrinthwasser hereinragenden Nervenstäbchen, außerordentlich geeignet sind, durch Wellenbewegungen der sie umgebenden Flüssigkeit, wenn diese ihrer eigenen, je nach der Länge und Dicke der Stäbchen verschiedenen Schwingungsfähigkeit entsprechen, zu Mitschwingungen veranlaßt zu werden. Diese zitternden Bewegungen der Hörstäbchen übertragen sich als mechanischer Reiz auf die in direkter Verbindung mit ihnen stehenden feinsten Gehörnervenfasern, welche, wie alle Nervenfasern, durch rasch aufeinander folgende zitternde Bewegungen erregt werden können. Jede musikalische Schallbewegung versetzt diejenigen der verschieden gestimmten mikroskopischen tonempfindlichen (akustischen) Nervenendapparate, die ihrer eigenen Tonhöhe entsprechen, in gleichstimmige Schwingungen, so daß der mit einem solchen Gehörstäbchen verknüpfte Teil der nervösen Gehörssinnsubstanz immer nur durch eine ganz bestimmte spezifische Gehörsempfindung, nur einem Ton entsprechend, erregt wird.

Als Geräusche und musikalische Klänge unterscheiden wir zunächst die verschiedenen Schallempfindungen, die unser Ohr aufzunehmen vermag. Schnelle periodische, d. h. sich streng regelmäßig wiederholende, gleichartige Bewegungen eines schallerzeugenden Körpers erregen Klangempfindungen; die Empfindung eines Geräusches erhält unser Gehörorgan durch unregelmäßig sich folgende, nichtperiodische Bewegungen. Langsam erfolgende periodische Bewegungen, wie etwa taktmäßiges Klopfen oder Anschlagen der Glocken, erregen ebenfalls keine eigentliche Klangempfindung, sondern nur ein mehr oder weniger angenehmes Geräusch, wie auch übermäßig hohe, dem Ohre weh thuende schrille Klänge als Geräusch wirken. Das Sausen, Heulen und Zischen des Windes, das Plätschern des Wassers, das Rollen und Rasseln der Wagen sind Beispiele für nicht oder nicht streng periodische akustische Bewegungen der Geräusche; die Klänge der musikalischen Instrumente und der singenden Menschenstimme sind dagegen periodische Bewegungen. In mannigfach wechselndem Verhältnis können Klänge und Geräusche sich mischen und ineinander übergehen.

Die verschiedenen periodischen Wellenbewegungen der Luft, die Klänge, welche durch Musikinstrumente und den menschlichen Kehlkopf hervorgebracht werden, können mathematisch-physikalisch in eine Summe einfacher Töne, d. h. pendelartiger Tonschwingungen, wie sie z. B. die Stimmgabel ausführt, zerlegt werden. Auch unser Ohr zerlegt, wie Helmholtz nachgewiesen hat, die Klänge der Menschenstimme und der Musikinstrumente in ihre Teiltöne, Partialtöne, in Grundton und harmonische Obertöne. Der Grundton ist der tiefste und meist auch der stärkste unter allen den Klang zusammensetzenden Teiltönen; nach seiner Tonhöhe beurteilen wir die Tonhöhe des ganzen Klanges. Die Reihe der Obertöne ist für alle musikalischen Klänge konstant, es treten in einem Klange auf (oder können wenigstens in ihm auftreten): die höhere Oktave des Grundtones, welche die doppelte Anzahl von Schallschwingungen macht als dieser, dann die Quinte dieser Oktave mit dreimal, die zweite höhere Oktave mit viermal, die große Terz dieser Oktave mit fünfmal, die Quinte dieser Oktave mit sechsmal soviel Schwingungen wie der Grundton. Daran reihen sich, immer schwächer werdend, die Töne, welche sieben-, acht-, neunmal rc. soviel Schwingungen machen als der Grundton. Die spezifisch verschiedene Klangfarbe der Klänge der musikalischen Instrumente beruht, wie uns Helmholtz lehrte, auf konstanten Verschiedenheiten in der Zusammensetzung aus Teiltönen (solche können ausfallen) und in der

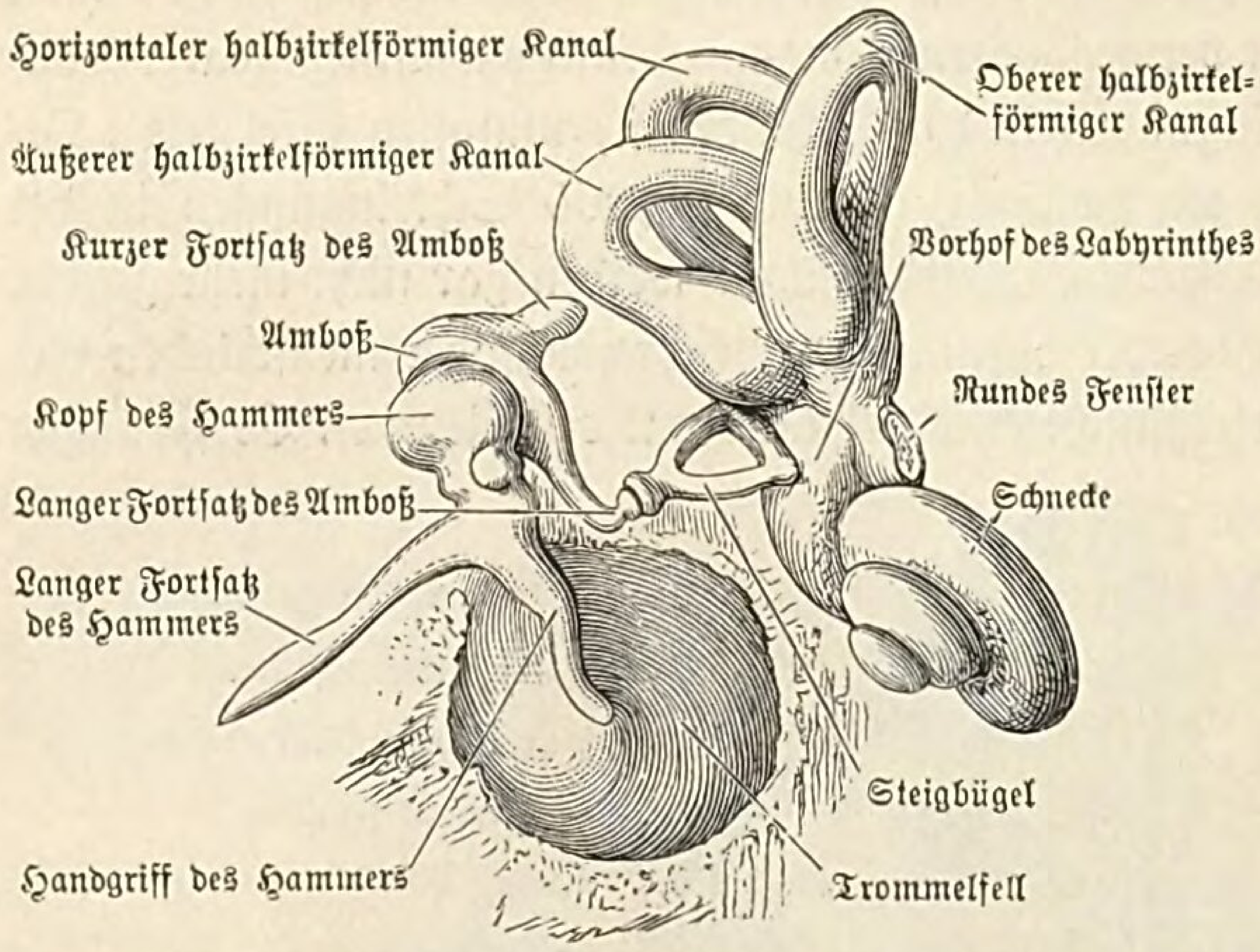
relativen und absoluten Stärke derselben. Die Stärke des Klanges wächst und nimmt ab mit der Breite (Amplitude) der Schwingungen des tönenden Körpers; das physiologische Verhältnis unterscheidet sich hier aber von dem rein physikalischen dadurch, daß die Empfindlichkeit unseres Gehörorgans für Töne verschiedener Höhe eine verschiedene und zwar je nach dem Zustand des Ohres wechselnde ist. Die Tonhöhe wird nur bestimmt von der Schwingungszahl, durch die Anzahl der Schwingungen, welche der tönende Körper in der Sekunde ausführt. Die Töne sind um so höher, je größer ihre Schwingungszahl ist, je kürzer also jede einzelne Schwingung selbst dauert (Schwingungsdauer). Die musikalisch gut verwendbaren Töne mit deutlich wahrnehmbarer Tonhöhe liegen zwischen 40 und 4000 Schwingungen in der Sekunde, sie umfassen also sieben Oktaven; die überhaupt wahrnehmbaren liegen zwischen 16 und 38,000 Schwingungen in der Sekunde, also im Bereiche von etwa elf Oktaven. Höhere Töne werden gar nicht mehr gehört.



Senkrechter Querschnitt durch den äußeren Gehörgang.

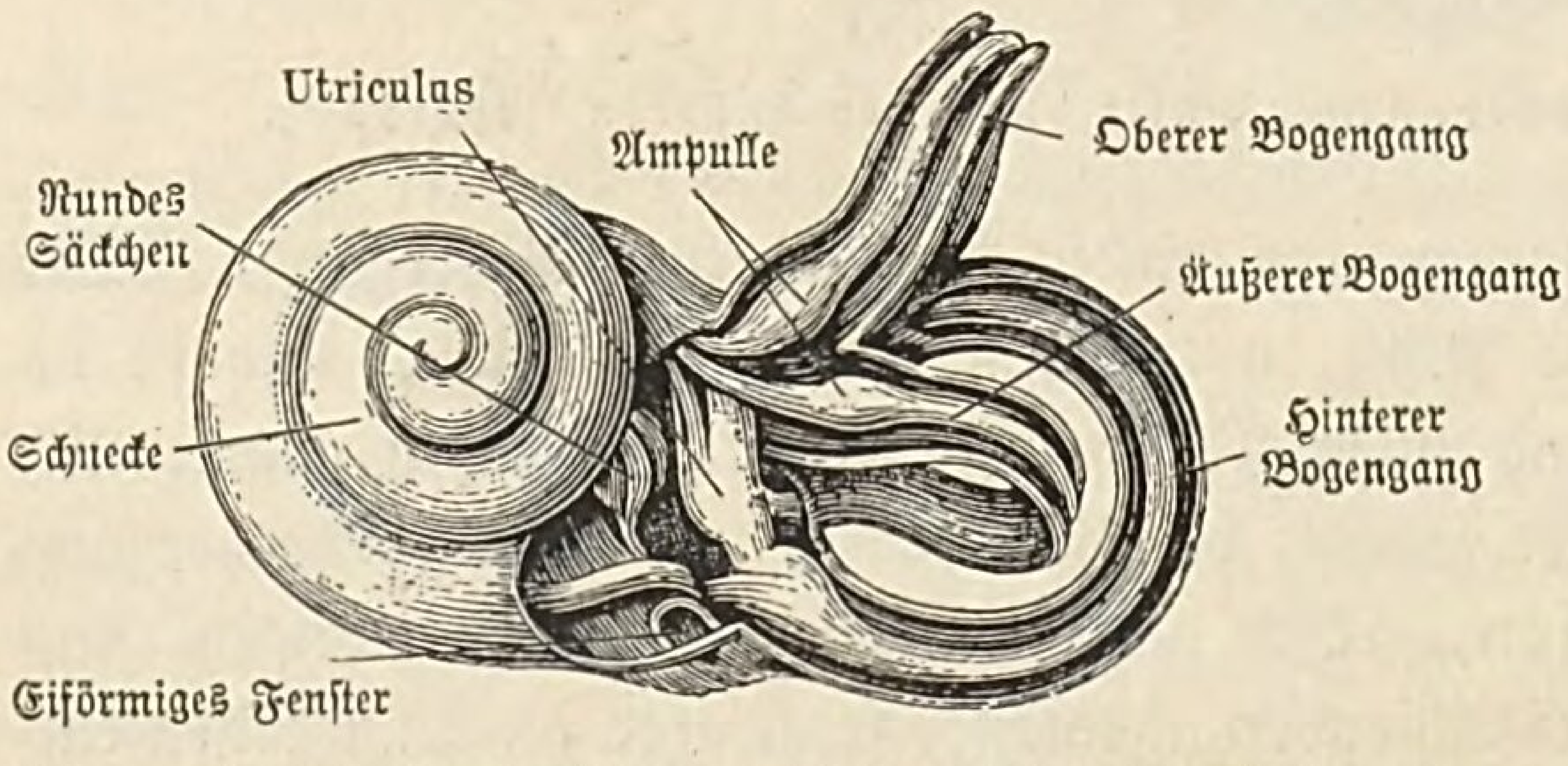
Das äußere Ohr werden wir noch bei der allgemeinen Beschreibung der menschlichen Gestalt näher kennen lernen. Es bildet eine elastische Knorpelplatte mit verschiedenen Vorsprüngen und Eintiefungen und gestaltet sich in seinen mittleren Teilen zu einer wahren Hörrohrtrompete, welche die aufgefangenen Luftbewegungen durch den äußeren Gehörgang dem den letzteren verschließenden Trommelfell zuleitet. Der Gehörgang (s. nebenstehende Abbildung) besteht aus einem knorpeligen, gewissermaßen mit dem Ohrknorpel zusammenhängenden Anfangsstück (knorpeliger Gehörgang) und einem knöchernen, dem Schläfenbein angehörenden Endstück (knöcherner Gehörgang). Der ganze Gehörgang erweitert sich gegen die Mitte zu und am Trommelfell etwas und ist im ganzen leicht spiralig nach vorn, innen und unten gedreht. In seiner Haut stehen, namentlich am Ohreingang, manchmal lang werdende Haare, die Bockshaare, und in jedem Gehörgang etwa 1000—2000 Ohrenschmalzdrüsen, größer als die Schweißdrüsen der übrigen Haut und mit mehr Fett, Ohrenschmalz, in ihrer Absonderungsmasse, sonst aber im Bau diesen entsprechend. Nach innen wird der äußere Gehörgang durch das eine runde, feine Hautplatte bildende Trommelfell gegen das mittlere Ohr abgeschlossen; die Außenfläche des Trommelfelles gehört dem äußeren, die Innenfläche dem mittleren Ohre an. Das Trommelfell steht schief von oben und außen nach unten und hinten gerichtet, so daß die untere Wand des äußeren Gehörganges etwas länger ist als die obere. In der Mitte ist das Trommelfell nabelförmig eingezogen. Trotz seiner Feinheit besteht das Trommelfell aus drei Hautschichten, von denen die innere vornehmlich elastisches Gewebe zeigt. Helmholtz hat nachgewiesen, daß Häute, Membranen, welche, wie das Trommelfell, „nabelförmig" ausgespannt sind, besonders stark und leicht von verschiedenen Tönen in Mitschwingungen versetzt werden können, während flach gespannte Membranen, wie das Kalbfell der Trommeln, je nach ihrer Größe und Spannung, gespannten Saiten entsprechend, wesentlich nur für einen Ton abgestimmt sind.

Das **mittlere Ohr** (s. untenstehende Abbildung) besteht aus einem nach unten durch die anfänglich enge, dann sich trichterförmig erweiternde, zwischen 3 und 4 cm lange **Eustachische Ohrtrompete** in die Rachenhöhle mündenden kleinen Hohlraum im Felsenteil des Schläfenbeines: **Pauken- oder Trommelhöhle**. Sie enthält die niedliche Kette der kleinen, durch Gelenke untereinander verbundenen und durch kleine Muskeln zu spannenden **Gehörknöchelchen: Hammer, Amboß** und **Steigbügel**, deren Formen durch die beigefügten Abbildungen klarer werden als durch lange Beschreibungen.



Trommelfell, Gehörknöchelchen und knöchernes Labyrinth vom rechten Ohr, vergrößert.

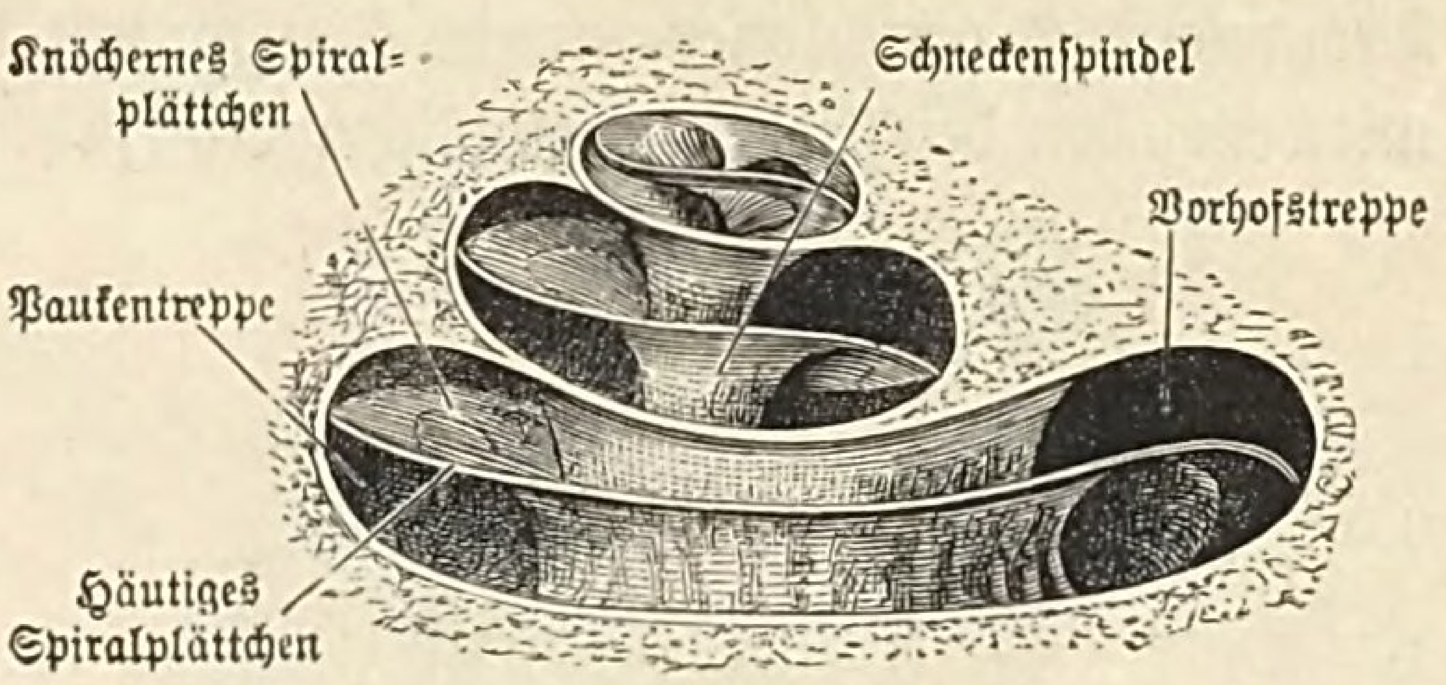
Am **Hammer** unterscheidet man Kopf, Hals, Handhabe und zwei verschieden lange Fortsätze. Der kürzere und dickere der Fortsätze, die Handhabe oder der Griff des Hammers, hängt mit dem Trommelfell fest zusammen, indem er zwischen die innere und mittlere Hautschicht desselben hineingeschoben ist; sein Ende liegt in der Mitte des Trommelfelles und zieht diese so nach einwärts, daß dadurch der oben erwähnte nach außen konkave, nach innen konvexe Nabel des Trommelfelles entsteht. Der lange Fortsatz befestigt den Hammer in einer Knochenspalte der Trommelhöhle. Der Hammerkopf steht mit dem Amboß in Gelenkverbindung. Der **Amboß**, kleiner als der Hammer, ähnelt einem zweiwurzeligen Backenzahn, dessen Wurzeln annähernd rechtwinkelig auseinander treten. Auch an ihm unterscheidet man also zwei verschieden lange Fortsätze; der kurze sieht direkt nach hinten, der lange, welcher dem Hammergriff parallel nach unten und innen gerichtet ist, trägt an seinem etwas nach innen und hinten gekrümmten Ende das **linsenförmige Knöchelchen** als kugeligen Gelenkfortsatz, mit welchem sich die Gelenkfläche am Kopf des Steigbügels verbindet; der **Steigbügel** entspricht in seiner Gestalt seinem Namen fast vollkommen.



Schema des Labyrinths vom linken Ohr, die häutigen Bogengänge und Vorhofssäckchen bloßgelegt, vergrößert.

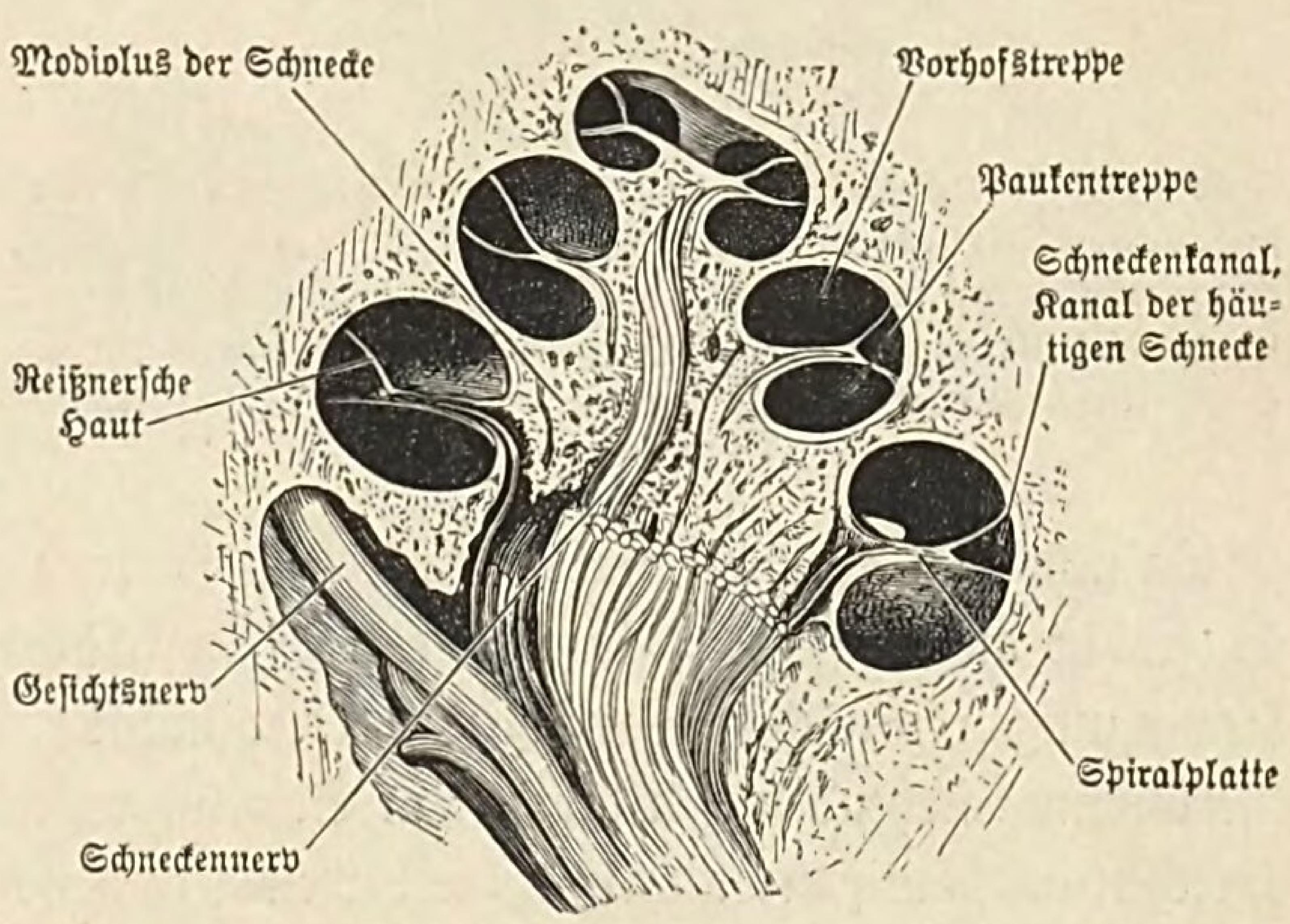
Gegen das **innere Ohr** oder **Labyrinth des Ohres** (s. nebenstehende Abbildung), welches, eingeschlossen in die Schläfenbeinpyramide, sonst ganz, abgesehen von den Gehörnerveneintrittsstellen, von geschlossenen knöchernen Wänden umgeben ist, besitzt das mittlere Ohr zwei mit feinen Häutchen, die in gewissem Sinn dem Trommelfell ähnlich sind, verschlossene Öffnungen: das ovale oder Vorhofsfenster und das runde oder Schneckenfenster; die letzteren Namen bezeichnen den Ort (Vorhof oder Schnecke), wo die betreffenden Öffnungen in das Labyrinth münden. Die Öffnung des **ovalen oder Vorhofsfensters** wird fast vollkommen von der Fußplatte des Steigbügels eingenommen; in diesem steckt sie aber nicht fest, sondern ist beweglich eingesetzt durch ein faseriges, mit ihr verwachsenes Häutchen, das **innere Trommelfell**, welches den ungemein kleinen Raum zwischen dem Rande der Fußplatte und dem Rande des ovalen

Fensters ausfüllt. Der Steigbügel und der lange Fortsatz des Amboß bilden in ihrer normalen Lagerung einen rechten Winkel. Das Steigbügelköpfchen ist also gegen die Innenwand des Trommelfelles gerichtet und empfängt jene Bewegungen, welche durch die von Klängen oder Geräuschen erzeugten Schwingungen des Trommelfelles dem Hammer, von diesem dem Amboß und von diesem dem Steigbügel mitgeteilt werden, von dessen Fußplatte sie sich durch Bewegungen des inneren Trommelfelles im ovalen Fenster auf das Labyrinthwasser übertragen. Die erwähnten kleinen Muskeln des mittleren Ohres spannen teils durch Zug an den Gehörknöchelchen das große Trommelfell, teils durch Einwirkung auf den Steigbügel das innere Trommelfell des ovalen Fensters. Durch die dadurch ermöglichte stärkere oder schwächere Spannung dieser akustischen Platten (Membranen) wird das Gehörorgan einmal für höhere, ein andermal für tiefere Töne in etwas gesteigertem Maße empfänglich, so daß die Empfindung der betreffenden Töne verstärkt wird. Es ist das eine Art von Anpassung, Akkommodation des Ohres, wie wir eine solche bei dem Auge in so ausgedehntem Maße verwirklicht finden. Durch die Eustachische Ohrtrompete kann der mit Schleimhaut ausgekleideten Trommelhöhle des mittleren Ohres Luft zugeleitet, die in ihr enthaltene Luft erneuert werden. Die Eustachische Ohrtrompete öffnet sich zu diesem Zweck namentlich leicht bei Schluckbewegungen; ein dauernder Verschluß der Ohrtrompete bedingt Schwerhörigkeit.



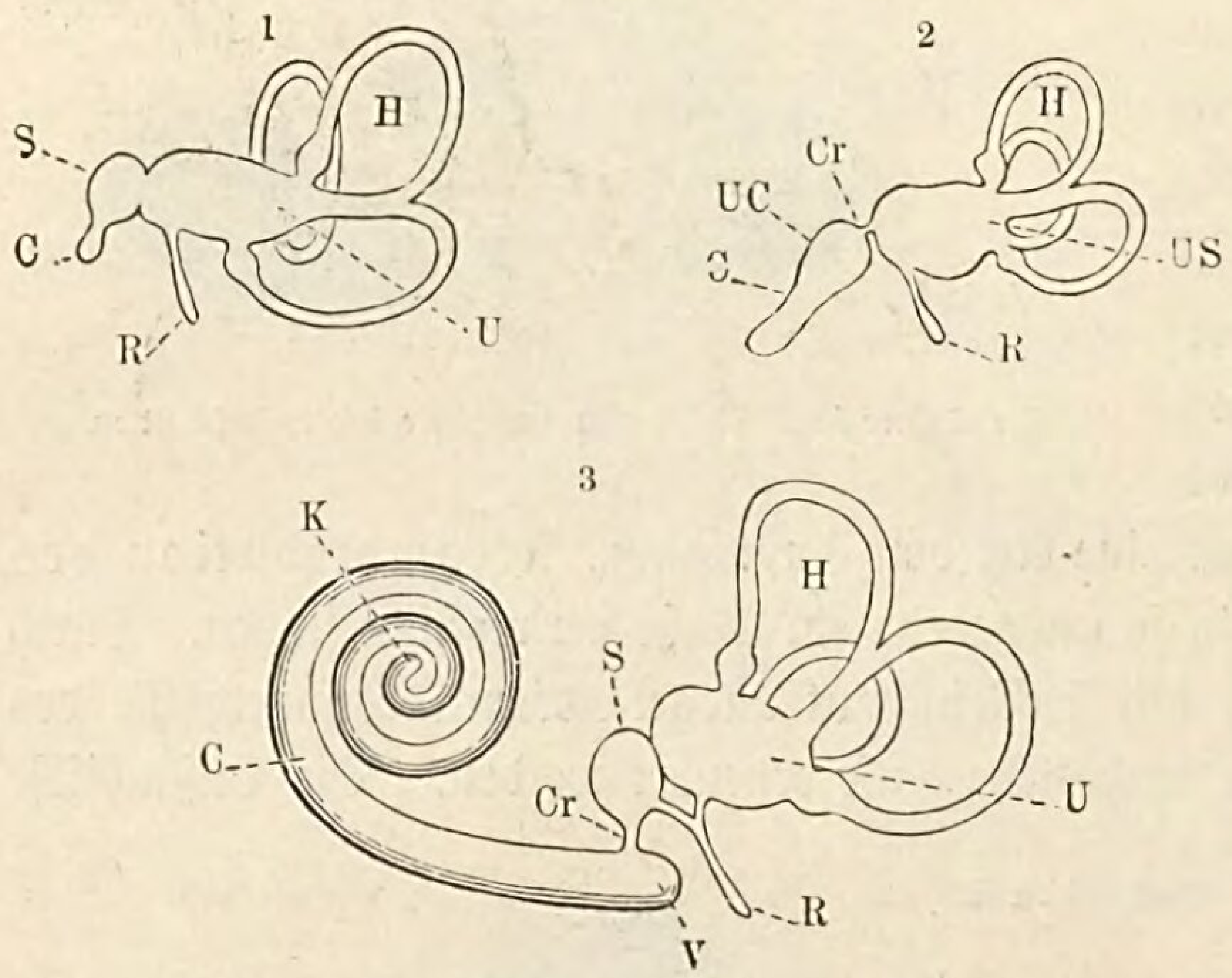
Die Schneckenhöhle, von der Seite her aufgeschnitten.

Wie schon der Name andeutet, besteht das innere Ohr, das knöcherne Ohrlabyrinth, aus mehreren miteinander in offener Verbindung stehenden Hohlräumen von verwickeltem Verlauf (s. Abbildung, S. 578). Die Hauptabschnitte werden bezeichnet als: Vorhof, die drei Bogengänge oder halbzirkelförmigen Kanäle und die Schnecke. Die mittlere, ziemlich weite Partie des Labyrinthhohlraumes bildet der Vorhof, der durch das ovale Fenster mit dem mittleren Ohr eine gewisse direkte Verbindung besitzt. Er ist unvollkommen durch eine feine Knochenleiste in zwei Abteilungen von ungleicher Größe getrennt, die vordere ist mehr rundlich, die hintere länglich-oval. In dem letztgenannten Abschnitt öffnen sich je mit ihren beiden Mündungen die drei Bogengänge, welche so gestellt sind, daß die Ebenen, in denen sie liegen, senkrecht aufeinander stehen. An jedem unterscheidet man eine Anfangs- und eine Endmündung. Die Anfangsmündung erweitert sich bei jedem der drei im Querschnitt ovalen Gänge zu einer ovalen, Ampulle genannten kleinen Höhle, dann verengern sich die Gänge wieder und münden, indem zwei von ihnen, der obere und der untere, kurz vor ihrem Eintritt in den Vorhof zu einer gemeinsamen Endröhre verschmelzen, mit nur zwei Endöffnungen in den oben erwähnten länglich-ovalen Raum des letzteren. Die Länge der drei Bogengänge ist etwas verschieden. Die Schnecke (s. obenstehende Abbildungen) liegt vor dem Vorhof und erscheint, ganz ihrem Namen entsprechend,



Senkrechter Durchschnitt der Schnecke und der Schneckennerven, vergrößert.

als ein $2^1/_2$mal schraubenförmig aufgewundener Gang, ihre Windungen werden nach oben kleiner. Die knöcherne Achse, um welche die Windungen der Schnecke gedreht sind, heißt im allgemeinen **Spindel**; den Abschnitt derselben, welcher dem zweiten Umgang angehört, nennt man speziell Säulchen, der zu der dritten (halben) Windung gehörige heißt **Spindelblatt**. Der innere Hohlraum des Schneckenganges wird durch das an die Achse befestigte dünne, ebenfalls spiral gewundene, aus zwei Plättchen bestehende **Spiralblatt** in zwei Treppen geteilt, von denen die untere, der Basis nähere, die „Paukentreppe", durch das mit dem „sekundären oder inneren Trommelfell" verschlossene runde Fenster mit der Paukenhöhle, die obere, die Vorhofstreppe, mit dem oben beschriebenen rundlichen Abschnitt der Vorhofshöhle kommuniziert. Beide Treppenhohlräume stehen an der Schneckenspitze durch eine Öffnung, das **Schneckenloch** oder Helikotrema, miteinander in direkter offener Verbindung.



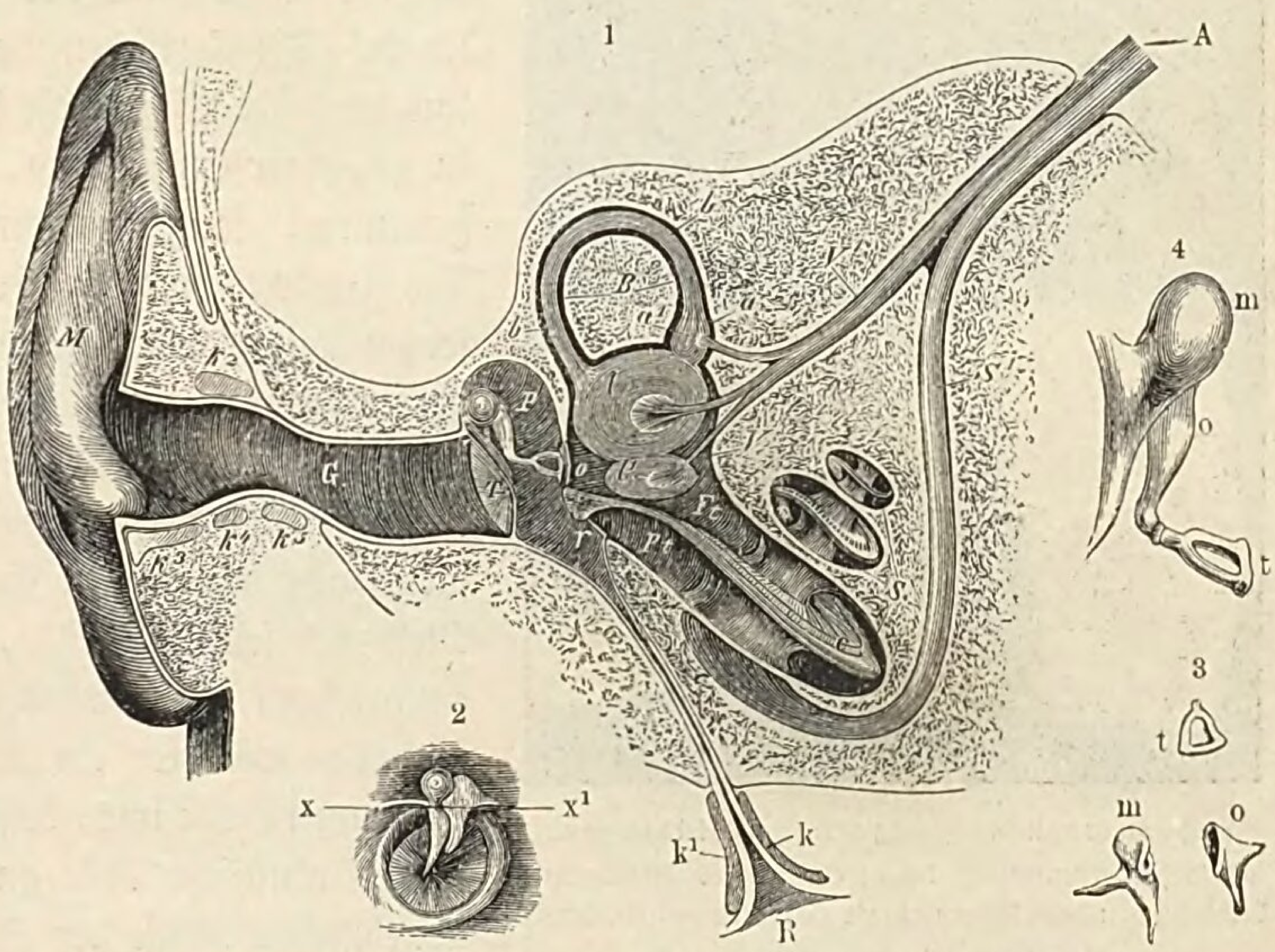
Schematische Darstellung des häutigen Labyrinths verschiedener Wirbeltiere. 1) Fisch, 2) Vogel, 3) Mensch. U) Ovales, S) rundes Säckchen des Vorhofs, C) Schnecke, R) Vorhofswasserleitung, H) halbzirkelförmige Kanäle, US) gemeinschaftliches Vorhofssäckchen, Cr) Vereinigungskanal, UC) Anfangsteil der Schnecke, V) Vorhofsblindsack, K) Kuppelblindsack.

Dem knöchernen Labyrinth entspricht der komplizierte Hohlraum des in diesem gelagerten **häutigen Labyrinths**. Die nebenstehende Abbildung erläutert dieses Verhältnis. Das häutige Labyrinth besteht, wie das knöcherne, aus miteinander kommunizierenden Hohlräumen. Es ist im knöchernen Labyrinth nur lose befestigt, so daß Platz für eine geringe Menge einer wässerigen Flüssigkeit zwischen der Innenwand des knöchernen und der Außenwand des häutigen Labyrinths bleibt: **äußeres Labyrinthwasser**. Der ganze innere Hohlraum des häutigen Labyrinths ist aber ebenfalls durch das **innere Labyrinthwasser** gefüllt und gespannt. Dieses ist die Flüssigkeit, in welche die **Hörstäbchen** hineinragen, und auf welche die Schallschwingungen zunächst übertragen werden müssen, um die mit den akustischen Nervenfasern in Verbindung stehenden Hörstäbchen in Schwingungen zu versetzen. Dem knöchernen Vorhof entsprechen im häutigen Labyrinth die beiden **Vorhofssäckchen**, das größere **runde**, mit dem die **häutige Schnecke**, und das kleinere **ovale Säckchen**, mit dem die drei **häutigen Bogengänge**, welche, wie die knöchernen, Ampullen besitzen, in offener Verbindung stehen. Die beiden Vorhofssäckchen selbst werden nur durch die enge Vorhofswasserleitung in Verbindung gesetzt. Die Art und Weise, wie die viel engere häutige Schnecke in der knöchernen Schneckenhöhle gelagert ist, ergibt die Abbildung, S. 577 unten, wo nur der dritte, kleine, äußere Hohlraum von dreieckigem Querschnitt der häutigen Schnecke entspricht.

In der Abbildung auf Seite 579 stellt Figur 1 einen Durchschnitt des **menschlichen Gehörorganes** der rechten Seite dar. Die Buchstaben haben folgende Bedeutung: M äußeres Ohr, G äußerer Gehörgang, k^2, k^3, k^4, k^5 Durchschnitte der Knorpel der Ohrmuschel und des knorpeligen Gehörganges, T Trommelfell, P Paukenhöhle, o ovales Fenster, r rundes Fenster, zwischen P und c die Gehörknöchelchen, R Eustachische Ohrtrompete, k, k^1 die Knorpelschichten ihrer Nasenmündung, V, B und S das knöcherne Labyrinth (V Vorhof, B ein halbzirkelförmiger Bogengang mit seiner Ampulle a, S die Schnecke), durch die Spiralplatte in die Vorhofstreppe Ft und die Paukentreppe Pt geteilt, l, l^1, b das häutige Labyrinth (l ovales, l^1 rundes

Vorhofssäckchen, b häutiger Bogengang mit seiner Ampulle a[1]), A Stamm des Hörnerven, V[1] Vorhofsnerv, S[1] Schneckennerv, c Cortisches Organ. — Fig. 2 zeigt das in seinem Knochenringe ausgespannte Trommelfell der rechten Seite, von innen gesehen, mit Hammer und Amboß in natürlicher Verbindung; x, x[1] ist die Achse, um welche sich die Knöchelchen vereint hebelförmig bewegen lassen. — Fig. 3 stellt die Gehörknöchelchen einzeln, Fig. 4 in normaler Verbindung dar; m ist der Hammer, o Amboß, t Steigbügel.

Der Gehörnerv teilt sich, wie die untenstehende Abbildung zeigt, in einem im Felsenbein gelegenen Tunnel in zwei Hauptäste: den Vorhofsnerven und den Schneckennerven. Der Vorhofsnerv tritt durch zahlreiche feine Öffnungen im Knochen an die häutigen Säckchen und verästelt sich in ihrer Wand und in jener der drei Ampullen. An jenen Stellen, wo die Nerven an den Vorhofssäckchen endigen, bemerkt man ein kreideweißes, rundliches Scheibchen, das aus unzähligen mikroskopischen Kristallen besteht, aus kohlensaurem Kalk, mittels eines organischen Bindemittels vereinigt: es sind das die Gehörsteinchen, Otolithen. Der Schneckennerv geht durch feine, kleine Löcher in die Schneckenspindel, von wo seine Fasern vom Spiralblatt zu der häutigen Schnecke gelangen, in welcher sie im Cortischen Organ endigen.

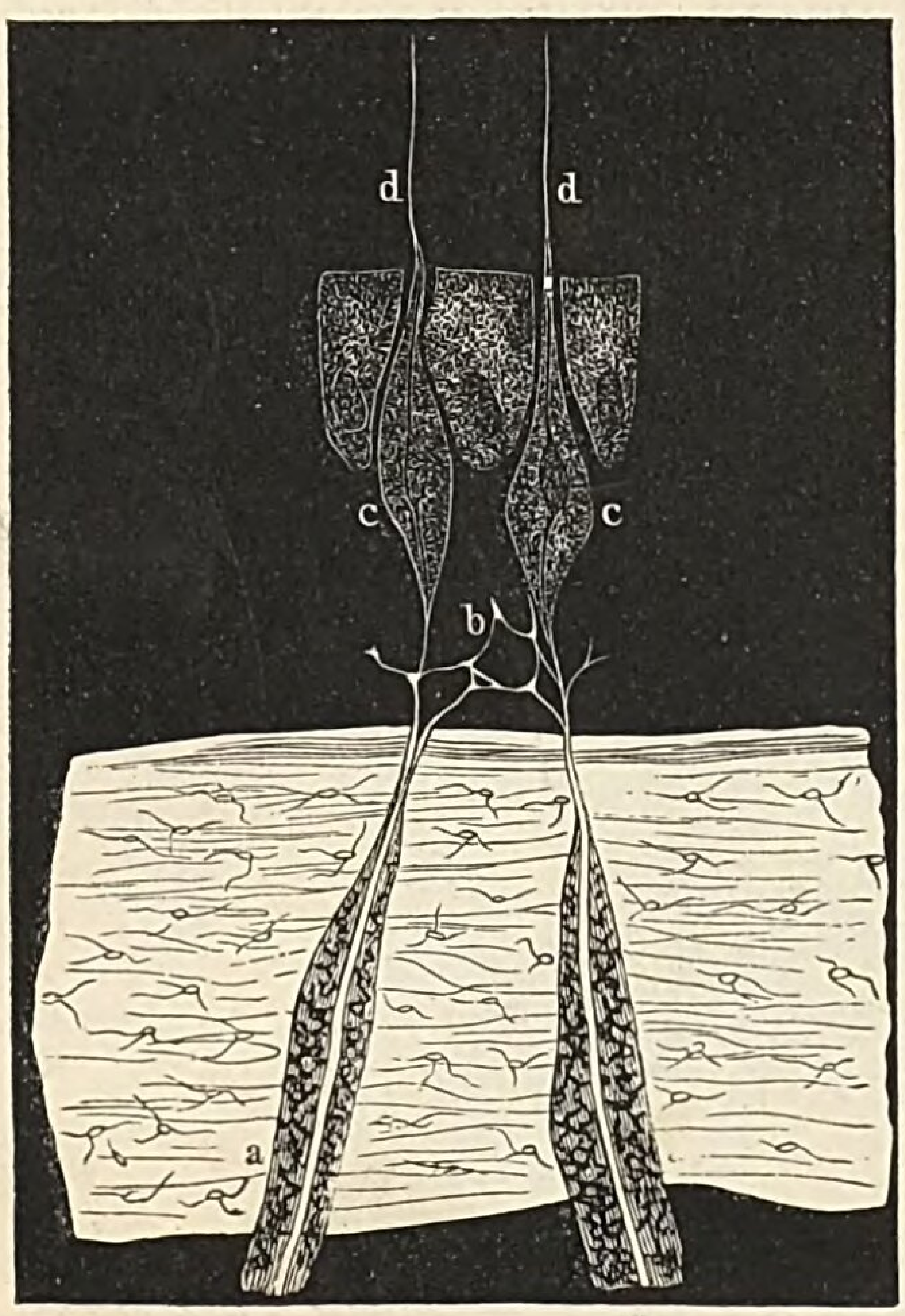


1) Durchschnitt durch das Gehörorgan des Menschen, halbschematisch. 2) Das Trommelfell mit Gehörknöchelchen. 3) Die einzelnen Gehörknöchelchen. 4) Die Gehörknöchelchen in normaler Verbindung. Vgl. Text, S. 578.

Die akustischen Endorgane des Gehörnerven in den Vorhofssäckchen und den Ampullen der drei Bogengänge entsprechen in gewisser Weise den Sinnesendorganen im Geruchs- und Geschmacksorgan (s. Abbildung, S. 580, oben). Zwischen cylindrischen Stützzellen stehen wieder spindelförmige Zellen mit großem Kern und Kernkörperchen mit zwei Fortsätzen, von denen der in die Tiefe steigende als eine feinste Nervenfaser des Gehörnerven, Nervus acusticus, anzusprechen ist, während der obere, über die innere Oberfläche der Haut vorragende Fortsatz an seiner mit der Spindelzelle zusammenhängenden Basis ziemlich viel dicker ist; oben geht er aber in ein sehr feines, hochelastisches, starres und wie ein Glasfaden brüchiges Stäbchen, das Hörstäbchen, aus. Es ist zweifellos, daß diese zahlreichen Hörstäbchen, welche, wie bei der Geruchsschleimhaut, eine elastisch-häutige Deckschicht durchbohren, von verschiedener Dicke und Länge, befähigt sind, durch die vermittelst äußerer Schallwirkungen im Labyrinthwasser erzeugten Wellen in Mitschwingungen versetzt zu werden und dadurch ihre Nervenfasern zu erregen. Man war früher der Meinung, das Cortische Organ in der Schnecke sei das eigentlich musikalische Organ, während man den Hörstäbchen in den Säckchen und Ampullen nur die Fähigkeit zur Aufnahme von Geräuschen zusprechen wollte. Da aber die entschieden musikalischen Singvögel keine eigentliche Schnecke besitzen (s. Abbildung, S. 578), so kann diese Ansicht nicht festgehalten werden;

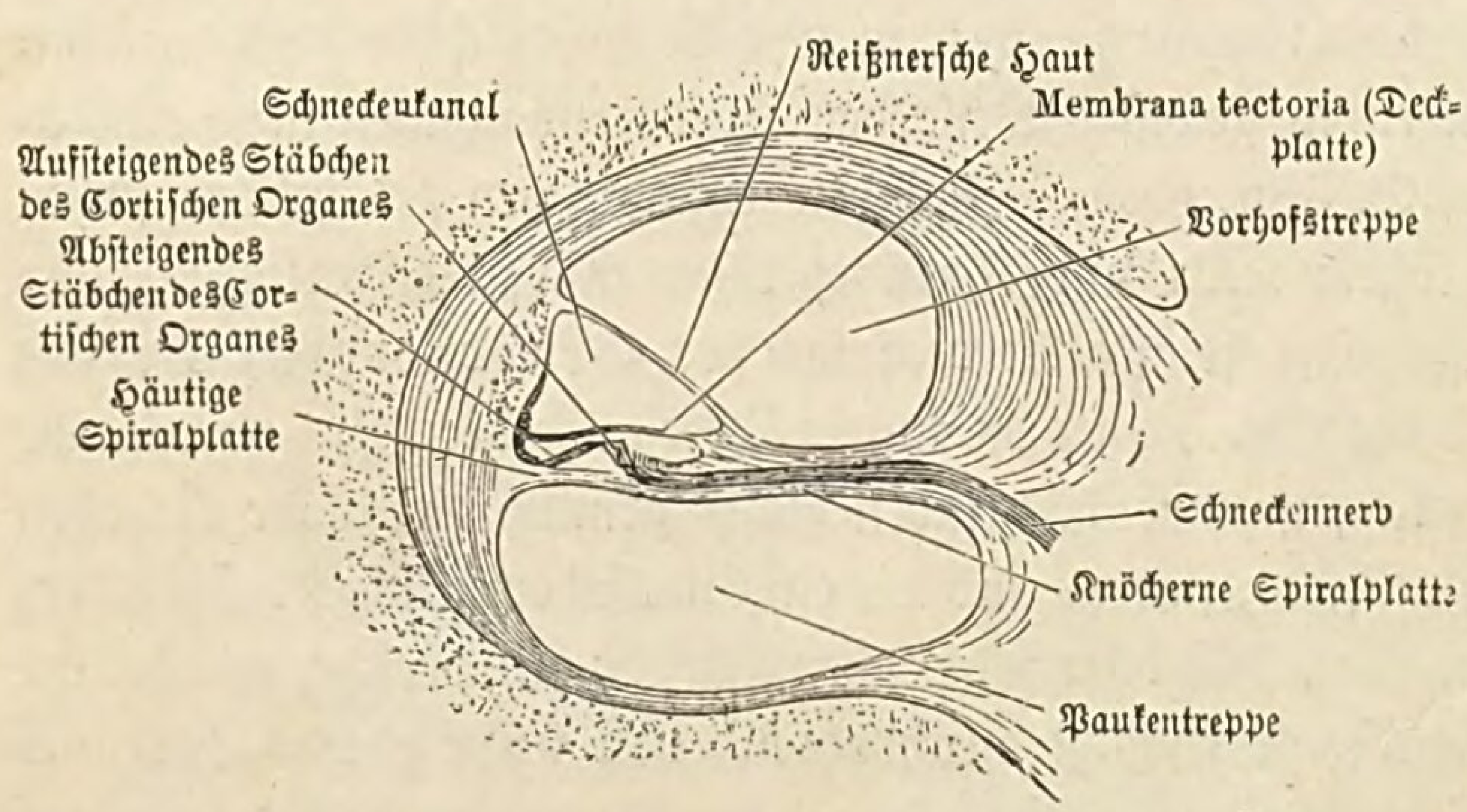
immerhin werden wir in dem Cortischen Organ das Hauptinstrument zu der außerordentlich feinen Tonunterscheidung suchen müssen, die den Menschen gewiß vor allen Geschöpfen auszeichnet.

Das Cortische Organ der häutigen Schnecke (s. untenstehende Abbildung und die auf S. 581) zeigt, zwischen zwei elastischen häutigen Bildungen ausgespannt, eine Anzahl von Cylinderzellen und in der Mitte derselben die berühmten Cortischen elastischen Bogen, die gleichsam den Resonanzhohlraum für das akustische Instrument bilden, der sich als feiner innerer Kanal durch die Schnecke erstreckt. Die Cortischen Bogen halten als spannende und tragende Pfosten die beiden häutigen Bildungen in gehöriger Entfernung, zwischen welchen jene eben genannten langen Cylinderzellen eingefügt sind. Die letzteren sind „Hörzellen“, sie stehen mit feinen Fasern des Gehörnerven in Verbindung, ihr oberes flaches, rundliches Ende durchbohrt die obere elastische Haut des Cortischen Organes und trägt ein Bündel feiner Hörstäbchen. Da die Dimensionen des ganzen Cortischen Organes mit der Mehrzahl seiner Gebilde, der Gestalt der Schnecke entsprechend, von unten nach oben kleiner werden, so haben wir hier ein physiologisches musikalisches Instrument vor uns, dessen an Größe abnehmende, speziell akustische Teile an die an Größe und Dicke abnehmende Reihe der Saiten eines Konzertflügels oder noch mehr an die an Größe und Dicke regelmäßig abnehmenden Glas- oder Stahlstäbe erinnern, wie sie in den Glas- oder Stahlstabharmoniken in den physikalischen Vorlesungen vorgeführt werden.



Gehörnervenendigungen. (Nach Rüdinger.) aa) Gehörnervenfasern, bei b) ein feinstes Fibrillennetz bildend, von dem Fasern in die Hörzellen cc) eintreten, dd) Hörstäbchen. Vgl. Text, S. 579.

Der Schall kann außer auf dem beschriebenen gewöhnlichen Wege auch durch die Kopfknochen den Endorganen des Gehörnerven im Labyrinth zugeleitet werden. Schlägt man eine Stimmgabel so schwach an, daß man ihren Ton in der Luft nicht vernimmt, und setzt sie auf die Kopfknochen, z. B. auf das Scheitelbein, oder an die Zähne, so hört man nun durch die Knochenleitung den Ton.

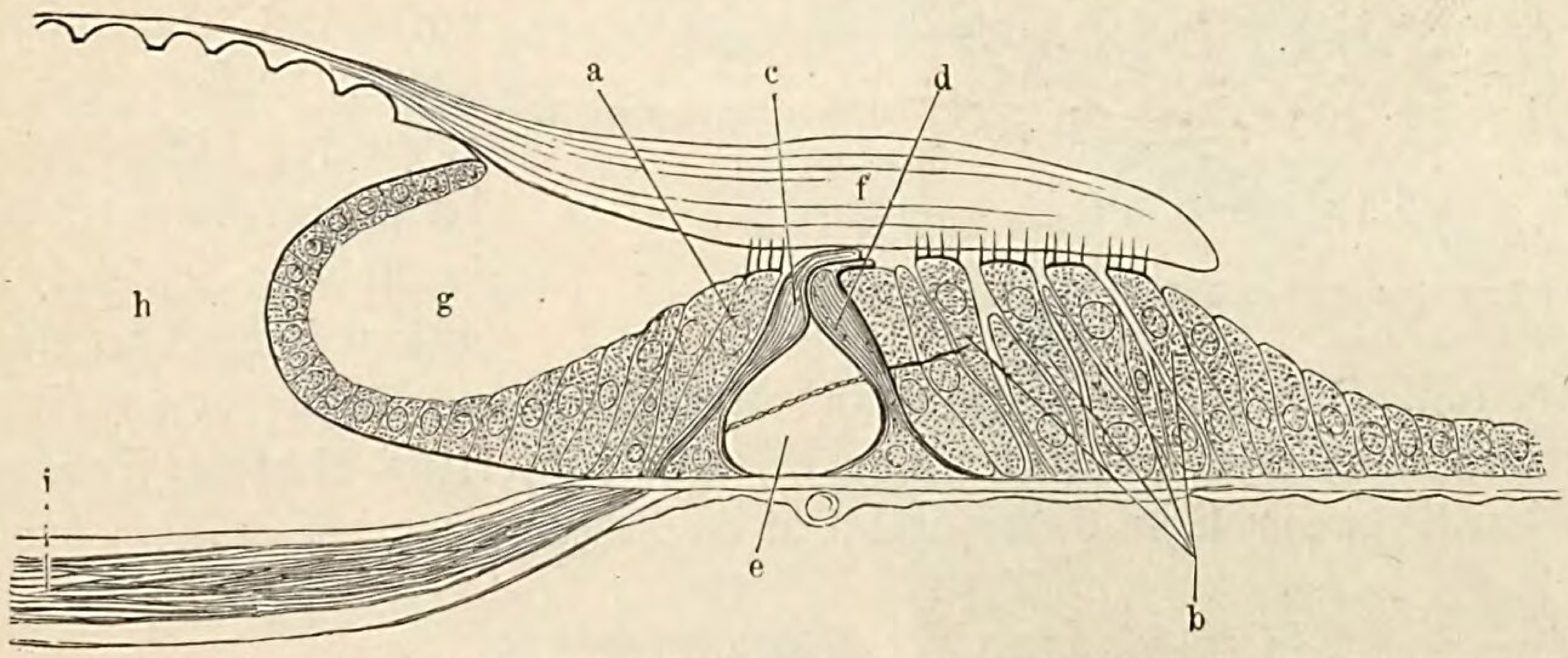


Querschnitt einer Schneckenwindung, vergrößert.

Die Richtung des Schalles können wir nur annähernd bestimmen. Wir hören einen Schall dann am deutlichsten, wenn seine Schallwellen in der geradlinigen Verlängerung des äußeren Gehörganges rechtwinkelig auf das äußere Ohr auftreffen; in diese Linie verlegen wir die Richtung des schallenden Körpers nach außen. Die Entfernung des Schalles beurteilen wir aus der Stärke der Schallempfindung. Die Schallstärke wird immer schwächer mit

der Entfernung der Schallquelle; aus Erfahrung kennen wir annähernd die Stärke der verschiedenen Schalle und deren Abnahme mit der Entfernung und bilden uns daraus ein Urteil über die Entfernung der Schallquelle. Wie trügerisch dieses Urteil aber unter Umständen sein könne, beweisen die bekannten Täuschungen, welche den Bauchrednern über den Ort und die Entfernung der Schallquelle so leicht gelingen.

Es kommen (entotische) Schallwahrnehmungen vor, welche auf Schallerzeugung in unserem Ohre selbst zurückgeführt werden müssen. Davon ist das „Knacken im Ohre" bei plötzlicher Öffnung der Eustachischen Ohrtrompete, z. B. beim Kauen oder beim Bergsteigen, wenn man zu dünneren oder dichteren Luftschichten gelangt, am allgemeinsten bekannt. Es rührt von einer plötzlichen Veränderung der Trommelfellspannung her. Auch rein subjektive Gehörsempfindungen, z. B. Ohrenklingen, welche keinem äußeren Schallreiz entsprechen, sind bekannt.



Cortisches Organ, stark vergrößert. a) Innere, b) äußere Haarzellen, c) innere, d) äußere Cortische Pfeiler, e) Cortischer Kanal, durch welchen eine Nervenfaser zieht, f) Deckplatte, g) Spiralfurche, h) knöcherne Spiralplatte, i) Schneckennerv. Vgl. Text, S. 580.

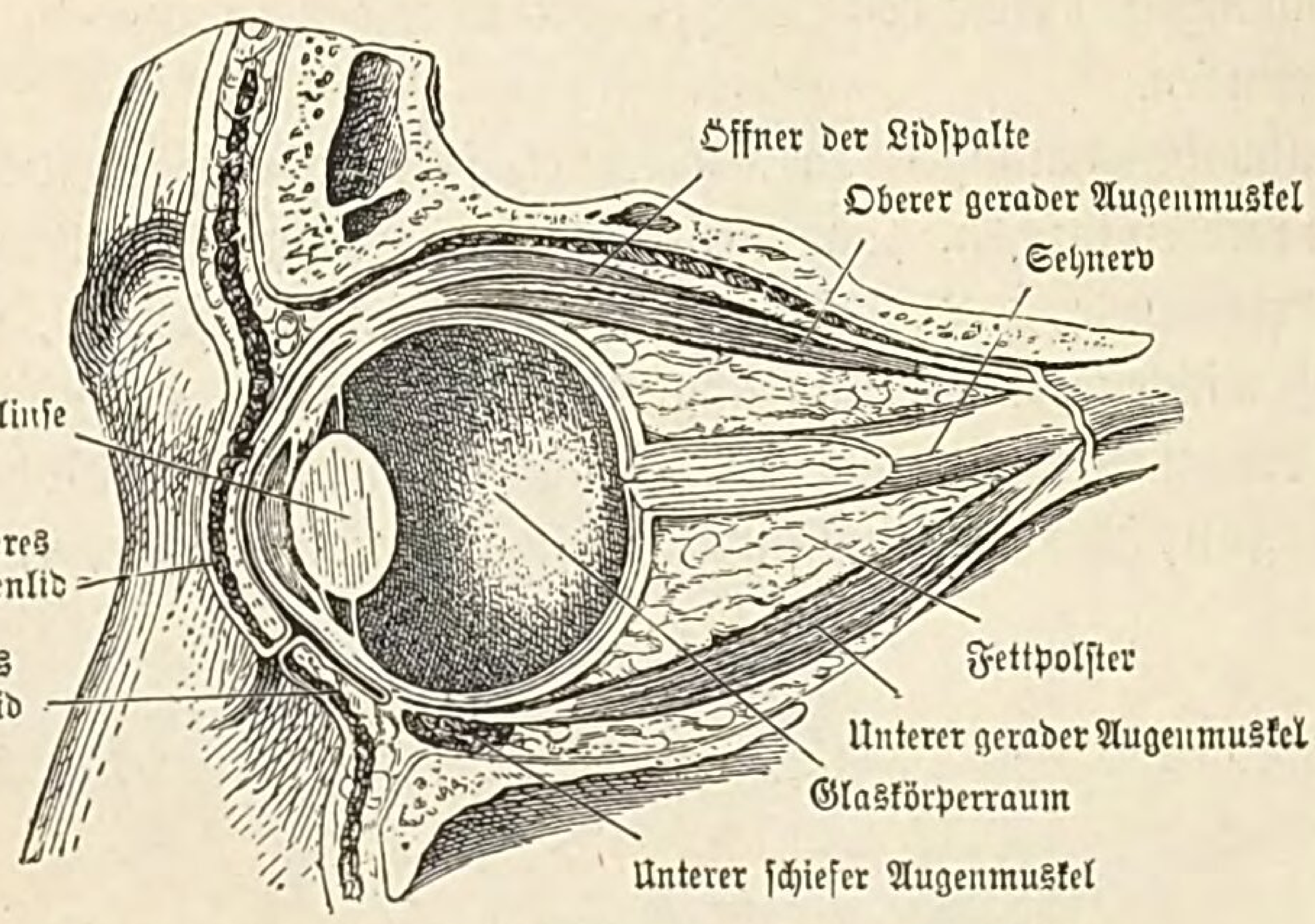
Sie rühren meist von geringen Abnormitäten in der Blutzirkulation im inneren Ohre her und beruhen auf einer Erregung eines oder mehrerer benachbarter Gehörnervenorgane im Labyrinth. Ohrenklingen tritt auch auf nach Chiningebrauch sowie durch chemischen Reiz des Gehirns (?); auch elektrischer Reiz erzeugt gewisse Gehörsempfindungen.

Der Gesichtssinn.

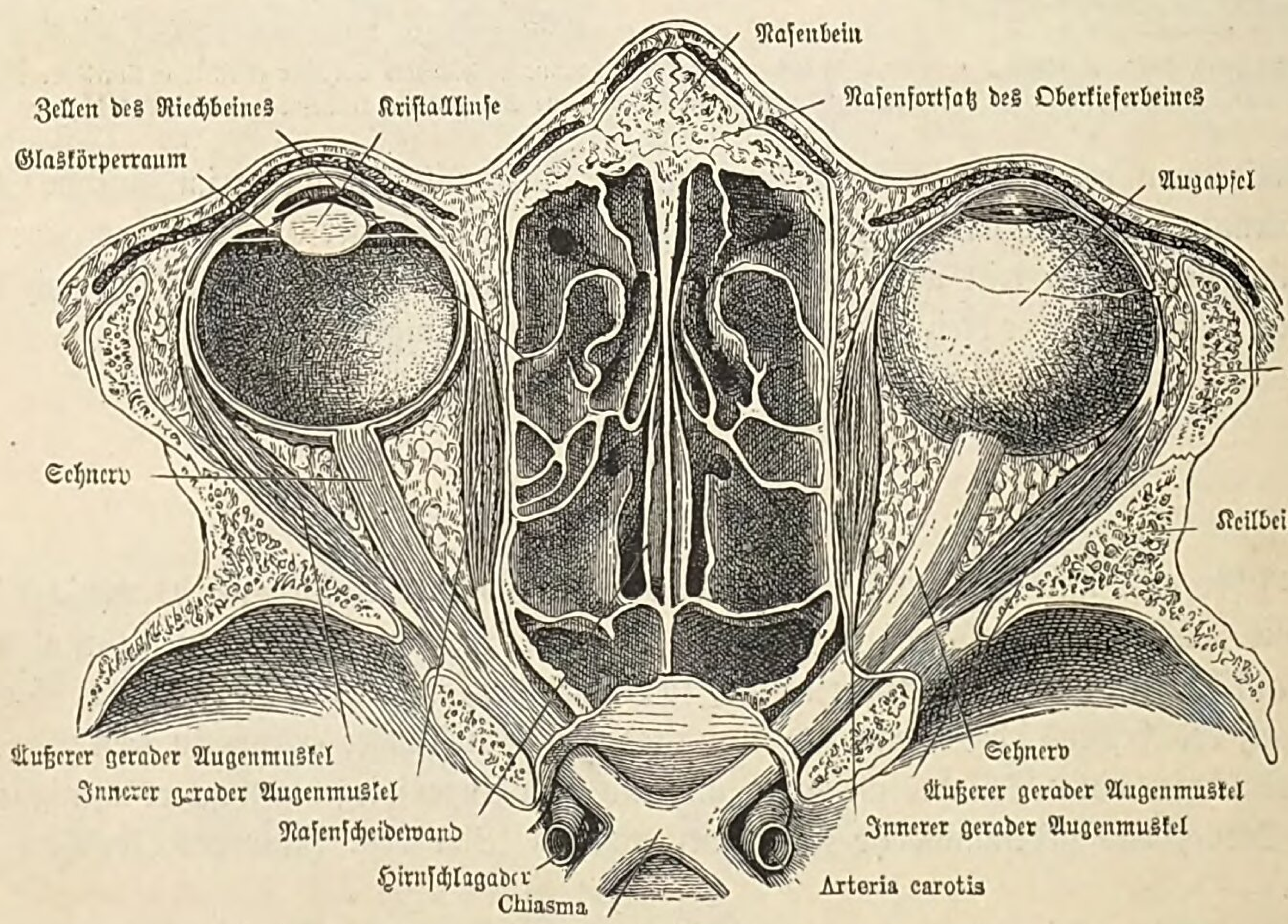
Von jeher galt und gilt das Auge als eins der wunderbarsten Organe des menschlichen Organismus. Wenn man aus den Gesichtszügen, aus der Hand, aus der ganzen Gestalt des Menschen auf seinen Charakter schließen wollte, so erschien doch immer das Auge als der eigentliche Abglanz des Herzens, des Gemütes. Der moderne Naturforscher erkennt in dem Nervenapparat des Auges einen Teil des Gehirns, und mit dem Augenspiegel gelingt es wenigstens an dieser Stelle, das geheimnisvolle Zentralnervenorgan selbst dem Blicke des Forschers zu erschließen.

Wie die übrigen Sinnesorgane, so verdankt auch das Auge seine spezifische Sinnesempfindung dem mit ihm verbundenen Sehsinn-Nervenapparat (s. Abbildung, S. 582, oben), alles andere am und im Auge sind nur Hilfsapparate, wie wir solche bei allen Sinnesorganen und namentlich am Gehörorgan in so staunenswerter Weise mechanisch ausgearbeitet angetroffen haben. Die in der hautartigen Ausbreitung des Sehnerven im Auge, in der Netzhaut, der Retina, gelegenen Endorgane des Sehnerven, die zu einem feinen Mosaik empfindlicher Punkte zusammengeordneten Stäbchen und Zapfen der Netzhaut, haben die spezifische Eigenschaft,

gewisse Schwingungen des Lichtäthers, die wir deswegen als leuchtende Strahlen oder Licht von den nicht leuchtenden Schwingungen des Lichtäthers (die wir, ebenfalls nur ihrer Wirkung auf unseren Körper entsprechend, als Wärmestrahlen und chemische Strahlen bezeichnen) unterscheiden, in einen Nervenreiz zu verwandeln. Objektives Licht, ein Lichtstrahl von genügender Stärke, auf ein Stäbchen oder einen Zapfen der Netzhaut auftreffend, bringt durch gewisse Veränderungen in diesen Nervenendorganen einen Erregungszustand der mit ihnen verknüpften Nervenfasern zu stande, welcher, dem Zentralorgan der Lichtempfindung in der grauen Rinde der Großhirnhemisphären zugeleitet, den subjektiven Eindruck der Lichtempfindung hervorruft. Jeder Erregungszustand der Fasern des Sehnerven bedingt, auch wenn er nicht durch objektives Licht erzeugt ist, eine subjektive Lichtempfindung; aber nur von den lichtempfindlichen Endapparaten in der Netzhaut, von den Stäbchen und Zapfen,



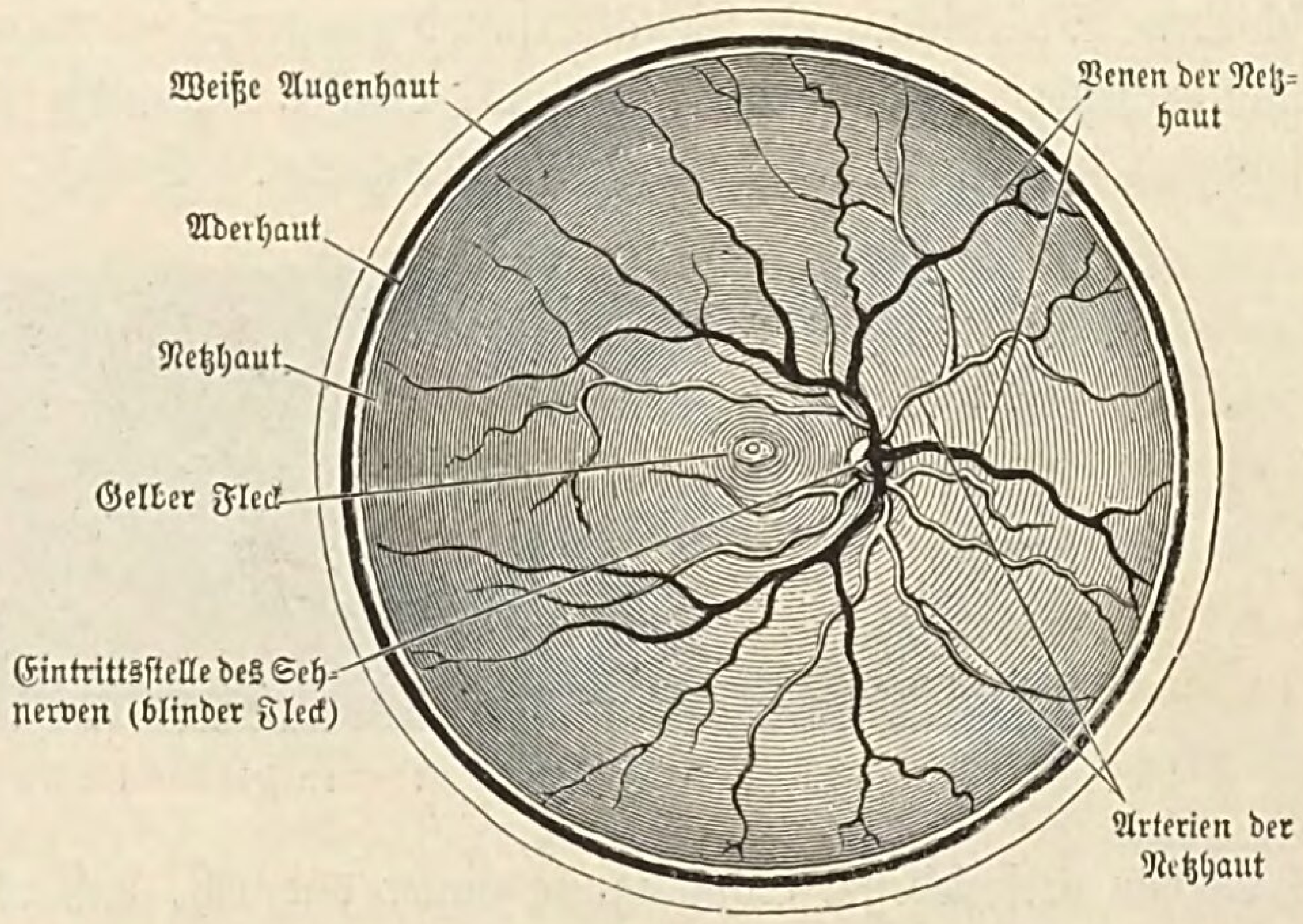
Durchschnitt des Sehapparats. Vgl. Text, S. 581.



Die Augen mit den Sehnerven, von oben gesehen, nach Entfernung des Daches der Augenhöhlen.

aus können die Sehnervenfasern durch objektives Licht, durch die Lichtstrahlen selbst, in den Erregungszustand versetzt werden. Licht, welches im Auge die Sehnervenfasern selbst ohne die Stäbchen oder Zapfen trifft, erregt keine Lichtempfindung. Das beweist der **blinde Fleck** im Auge. An der Stelle, wo der Sehnervenstamm sich mit der Netzhaut verbindet, in diese übergeht, fehlen auf einer scheibenförmigen Stelle der Netzhaut die Stäbchen und Zapfen. Diese

Stelle ist in jedem Auge vollkommen blind, obwohl hier die zahllosen Nervenfasern aus dem ganzen Gebiet der Netzhaut zusammentreten; Licht, welches diesen blinden Fleck trifft, bringt, mag es noch so grell sein, dort ebensowenig Erregung der Nervenfasern hervor wie an irgend einer anderen Stelle unseres Körpers, der keine lichtempfindlichen Netzhautelemente, Stäbchen und Zapfen, besitzt (s. untenstehende Abbildung). Wir können uns jeden Augenblick von dem Vorhandensein dieses blinden Fleckes in jedem unserer beiden Augen überzeugen. Fixieren wir z. B. mit dem linken Auge bei geschlossenem rechten Auge das kleine Kreuzchen auf dem S. 584 dargestellten schwarzen Felde aus der Entfernung etwa, in welcher Normalsichtige zu lesen pflegen, so verschwindet, wenn wir mit dem Auge weder nach rechts noch nach links abweichen, nicht nur die große weiße Kreisfläche daneben, sondern auch das ganze linke Ende der schwarzen Fläche selbst. Umgekehrt verschwindet das weiße Kreuzchen, wenn wir in der angegebenen Weise die weiße Scheibe mit dem rechten Auge bei geschlossenem linken scharf fixieren. Der Durchmesser des blinden Fleckes ist so groß, daß auf ihm nebeneinander elf Vollmonde Platz haben und ein etwa 2 m entferntes menschliches Gesicht in ihm verschwinden kann. Wir bemerken für gewöhnlich von dem blinden Flecke nichts, weil er in jedem der beiden Augen auf eine andere Stelle des **Gesichtsfeldes**, d. h. der ganzen Ausdehnung des mit einem Auge Sehbaren, trifft; was das eine Auge wegen seines blinden Fleckes nicht sehen kann, sieht daher das andere Auge. Es ist das einer der Fälle, aus welchen die praktische Wichtigkeit der Verdoppelung unseres Gesichtsorganes deutlich wird.

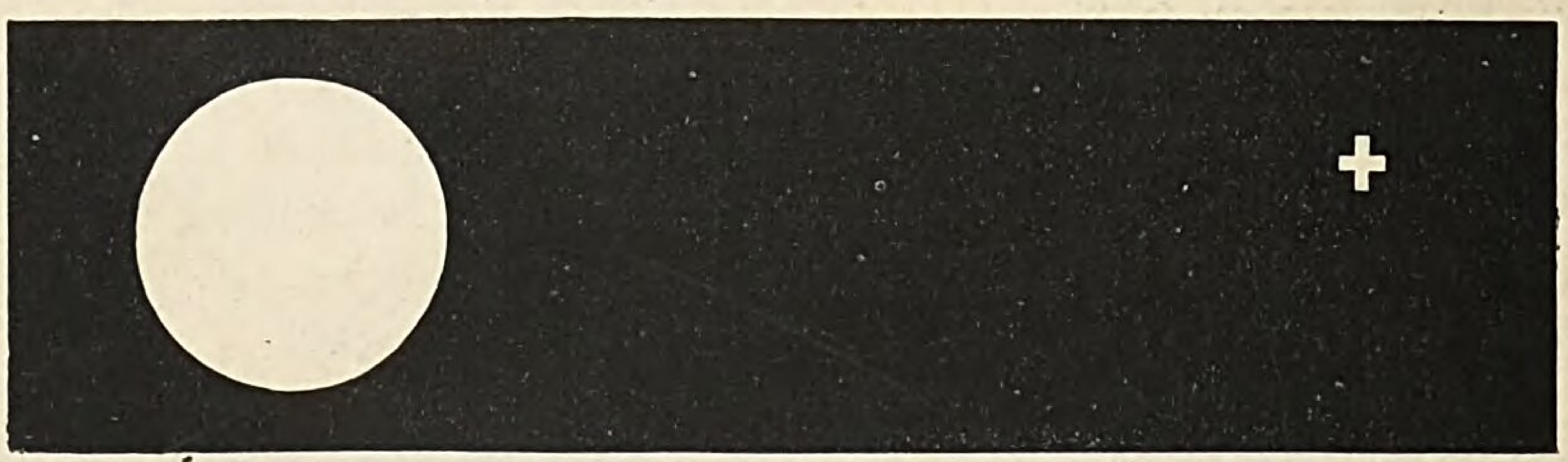


Aderfigur der Netzhaut.

Das menschliche Auge hat die Fähigkeit, **Hell** und **Dunkel**, d. h. die Abstufung der objektiven Lichtstärke, aber auch **Farben**, d. h. die verschieden rasch schwingenden Lichtstrahlen, und **Gestalten**, d. h. umgrenzte und Licht von verschiedener Stärke und Raschheit der Wellenbewegung des Lichtäthers aussendende Objekte, zu unterscheiden. Um einem möglichst einfach gedachten und in dieser Einfachheit bei niederen Tieren wirklich vorkommenden Auge die Fähigkeit der Auffassung des Lichtreizes und der Unterscheidung seiner Stärke zu verleihen, bedarf es, abgesehen von dem zentralen Sehsinn-Nervenapparat im Gehirn, dessen Erregungszustand uns Lichtempfindung bedeutet, nur einer einzigen Sehnervenfaser, mit **einem** für Licht empfindlichen Endorgan, etwa einem Netzhautstäbchen, verbunden. Bei vollkommenem Lichtmangel würde diese Sehnervenfaser gar nicht erregt werden; wird sie von Licht getroffen, so gerät sie in den veränderten Zustand der Erregung, und mit der Steigerung der Lichtstärke nimmt dieser Reizzustand an Stärke zu. Ein Auge aber, welches die Fähigkeit besitzt, die verschiedenen Qualitäten des Lichtes, die **Farben**, zu unterscheiden, sie als verschiedenartige Reize aufzufassen, bedarf nach dem Gesetz der spezifischen Energien wenigstens für die **Grundfarbenempfindungen**, aus denen die übrigen Farbenempfindungen gleichsam durch Mischung der Empfindungen hervorgehen, eigener, spezifischer Sehnervenendorgane, **mehrerer** eigener, spezifischer Farbenempfindungsorgane, welche durch Licht von bestimmter Geschwindigkeit der Lichtwellenbewegung oder, wie sich

die Physiker ausdrücken, durch Licht von bestimmter Wellenlänge in verschiedener Weise erregbar sind. Eine gleichzeitige Erregung der verschiedenen Grundfarben-Empfindungsorgane bringt den Eindruck des weißen Lichtes hervor, die Erregung jedes einzelnen nur den Eindruck der ihm spezifisch zukommenden Grundfarbenempfindung; werden zwei Farbenempfindungsorgane gleichzeitig erregt, so entsteht eine bestimmte Mischfarbenempfindung. Als Farbenempfindungsorgane gelten im Menschenauge die Zapfen der Retina, während man den Stäbchen nur einfache Lichtempfindung zuzuschreiben pflegt. Wahrscheinlich darf aber den Stäbchen unter Umständen auch die Empfindung roten Lichtes zugeschrieben werden; wir werden darauf bei Besprechung des „Sehrot“ der geruhten Netzhaut zurückkommen.

Um die Farbenempfindlichkeit des Auges näher zu verstehen, muß man sich daran erinnern, daß das objektive Sonnenlicht aus Licht, Lichtstrahlen von verschiedener Schwingungsdauer, zusammengesetzt ist, welches sich in objektiver, physikalischer, Beziehung nicht nur durch verschiedene Wellenlänge der Lichtätherschwingungen, sondern auch durch verschiedene Brechbarkeit in lichtbrechenden Substanzen, wie Glas, Wasser und andere, und durch verschiedene Absorptionsfähigkeit in gefärbten Substanzen unterscheidet. Subjektiv, physiologisch, unterscheiden wir



Figur zum Nachweis des blinden Fleckes im Auge. Vgl. Text, S. 583.

Licht von verschiedener Schwingungsdauer dadurch, daß es uns durch unser Auge die Empfindung verschiedener Farben erregt. Ein Glasprisma, durch welches weißes Sonnenlicht fällt, zerlegt dessen aus Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge zusammengesetzte Lichtbündel, der verschiedenen Brechbarkeit der Lichtstrahlen entsprechend, in ein farbiges prismatisches Spektrum, in eine farbige Fläche, welche die Regenbogenfarben zeigt, deren der Lichtquelle zugekehrtes Ende rot, das entgegengesetzte violett ist; dazwischen liegen, ineinander übergehend, zunächst dem Rot Orange, dann Gelb, Grün, Blau, endlich Violett. Jenseit des Violett und Rot liegen noch unsichtbare Strahlen des Spektrums. Durch gewisse Methoden der Beobachtung, z. B. Fluoreszenz, gelingt es, die jenseit des Violett liegenden ultravioletten Strahlen noch sichtbar zu machen, auch auf der roten Seite des Spektrums kann das Auge des Forschers noch etwas weiter vordringen; aber hier endet die Möglichkeit, die Strahlen sichtbar zu machen, bald: auf die roten Strahlen folgen „unsichtbare Wärmestrahlen“. Nach Helmholtz beträgt für äußerstes Rot die Wellenlänge 7617, für die Endgrenze des Violett 3929; das Ultraviolett kann sichtbar gemacht werden bis zu einer Wellenlänge von etwa 3108, Strahlen geringerer Wellenlänge (Wärmestrahlen) ist das Auge nicht mehr im stande als Licht aufzufassen. Einer bestimmten Wellenlänge des sichtbaren objektiven Lichtes entspricht in jedem Auge mit normaler Farbenempfindlichkeit eine bestimmte Farbenempfindung. Ist das letztere nicht der Fall, so bezeichnen wir, auch wenn noch gewisse Farbenempfindungen da sind, das Auge als farbenblind.

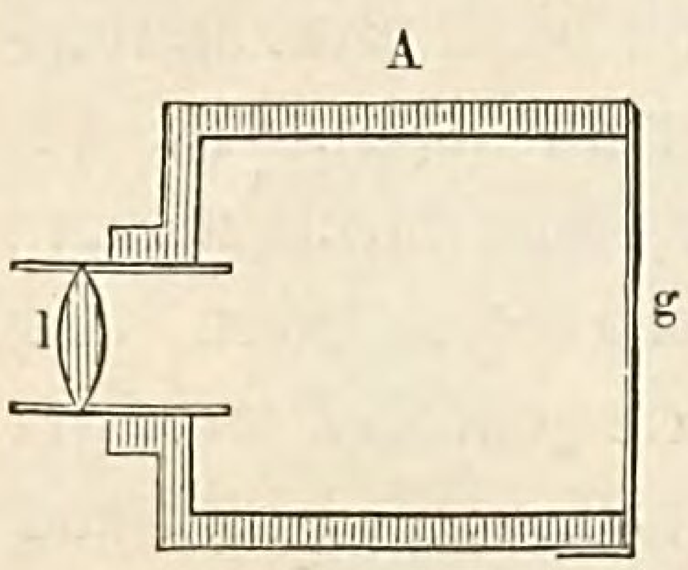
Wir haben schon oben angegeben, daß durch (optische) Mischung aller Spektralfarben der Eindruck des Weiß hervorgebracht wird; mischen wir Violett und Rot des Spektrums, so entsteht Purpurrot, dagegen entsteht durch Mischung verschiedener anderer Paare einfacher Farben ebenfalls der Eindruck von Weiß. Solche zwei Farben, welche miteinander gemischt die Empfindung

Weiß geben, heißen Komplementärfarben. Es sind komplementär: Rot und Blaugrün, Orange und Cyanblau, Gelb und Indigoblau, Grüngelb und Violett, Grün und Purpur. Nimmt man aus weißem und zwar aus allen Spektralfarben gemischtem Licht eine Farbe, d. h. die Strahlen einer Wellenlänge, weg, so geben alle anderen zusammen das Komplement zu dieser wahrgenommenen Farbe. Entzieht man z. B. dem weißen Licht die ultramarinblauen Strahlen, so erscheint das übrigbleibende Licht, obwohl es noch alle anderen Spektralfarben in sich enthält, gelb. Durch Mischung nicht komplementärer Spektralfarben erhalten wir die zartesten Farbenabstufungen. Aus diesen Erfahrungen hat man festgestellt, daß man durch (optische) Mischung von drei einfachen Spektralfarben die ganze Zahl aller möglichen Farbenunterschiede erhält, mit anderen Worten: unsere subjektive Farbenempfindung kann auf nur drei Grundfarbenempfindungen zurückgeführt werden. Nach der noch immer gebräuchlichsten Anschauung nimmt man in Übereinstimmung mit dem Gesagten an, daß in der Netzhaut drei Arten von farbenempfindlichen Nervenfasern existieren: Reizung der einen erregt die Empfindung des Rot, Reizung der zweiten die Empfindung des Grün, Reizung der dritten die Empfindung des Violett. Aus gleichzeitiger Erregung aller drei oder nur eines Paares dieser Grundfarbenempfindungsorgane ergibt sich die ganze Skala der möglichen Farbenempfindungen. In Beziehung dieser Farbenempfindungen erscheint die weit überwiegende Anzahl von Menschenaugen einander gleich. Speziell gilt das, wie die neuesten Forschungen zweifellos ergeben haben, auch für die Farbenempfindung der Augen der Naturvölker. Da letztere zum Teil weniger Farbenbezeichnungen haben als wir, so hat man daraus schließen wollen, sie hätten auch kein so feines Farbenunterscheidungsvermögen. Direkte Prüfung des letzteren mit verschiedenfarbigen Wollfäden, von denen man die gleichfarbigen von den „Wilden" selbst zusammensuchen läßt, hat ergeben, daß im Gegenteil ihr Farbenunterscheidungsvermögen trotz der Beschränktheit ihrer Farbenbenennung ein sehr hohes und normales ist. Auf dieselbe Weise löst sich auch das gleiche Rätsel bei einigen klassischen Völkern der Alten Welt, welche, wie die modernen Naturvölker, ebenfalls sprachlich weniger Farbenunterschiede machten als wir. Im allgemeinen werden von Naturmenschen vorzüglich nur diejenigen Farben mit eigenen Namen benannt, welche sie durch Farbmittel willkürlich, künstlich, hervorbringen können; der Farbenname bezeichnet bei dem Naturmenschen wie auch noch in unserer Technik die spezielle Farbe des Farbmittels, aber nicht den Eindruck etwa einer reinen Spektralfarbe.

Die Erscheinungen der Farbenblindheit dienten wesentlich zur Stütze der Grundfarbenempfindungs-Hypothese. Außer absolut farbenblinden Augen, welche nur Helligkeits- und Gestaltsdifferenzen, aber gar keine Farbe aufzufassen vermögen, gibt es andere, bei denen zwar Farbenempfindung vorhanden ist, alle ihre Farbenempfindungen sich aber auf die Mischung von nur zwei Farbenempfindungen zurückführen lassen. Am häufigsten fehlt von den drei Grundfarbenempfindungen farbenblinden Augen die Empfindung des Grün, solche Augen sind grünblind, grünes Licht erregt in ihnen nur eine Helligkeits-, keine Farbenempfindung. Am längsten bekannt ist die Rotblindheit, wobei die Empfindung des Rot fehlt; auch Violettblindheit kommt vor. Ausgeprägt rotblinde Augen sehen im Spektrum nur zwei Farben, die subjektiv meist als Blau und Gelb bezeichnet werden. Als Gelb erscheinen Rot, Orange, Gelb und Grün; die grünblauen Töne werden als Grau, der Rest der Spektralfarben als Blau bezeichnet. Grünblinde urteilen sicher über die Übergänge zwischen Violett und Rot, verwechseln aber Grün, Gelb, Blau und Rot; auch sie unterscheiden nur zwei Farben im Spektrum, welche sie Blau und Rot nennen. G. Wilson fand im Durchschnitt einen mehr oder weniger Farbenblinden unter 17 Personen. Dabei ist zu beachten, daß alle möglichen Abstufungen verminderter Farbenempfindlichkeit für eine oder alle Grundfarbenempfindungen bis zur gänzlichen Farbenunempfindlichkeit

vorkommen. Bei dem weiblichen Geschlecht ist die Farbenblindheit viel seltener als bei dem männlichen. Meist ist dieses Leiden, auf einem oder beiden Augen, angeboren, man hat es aber auch plötzlich nach Kopfverletzungen oder schweren Anstrengungen der Augen auftreten sehen.

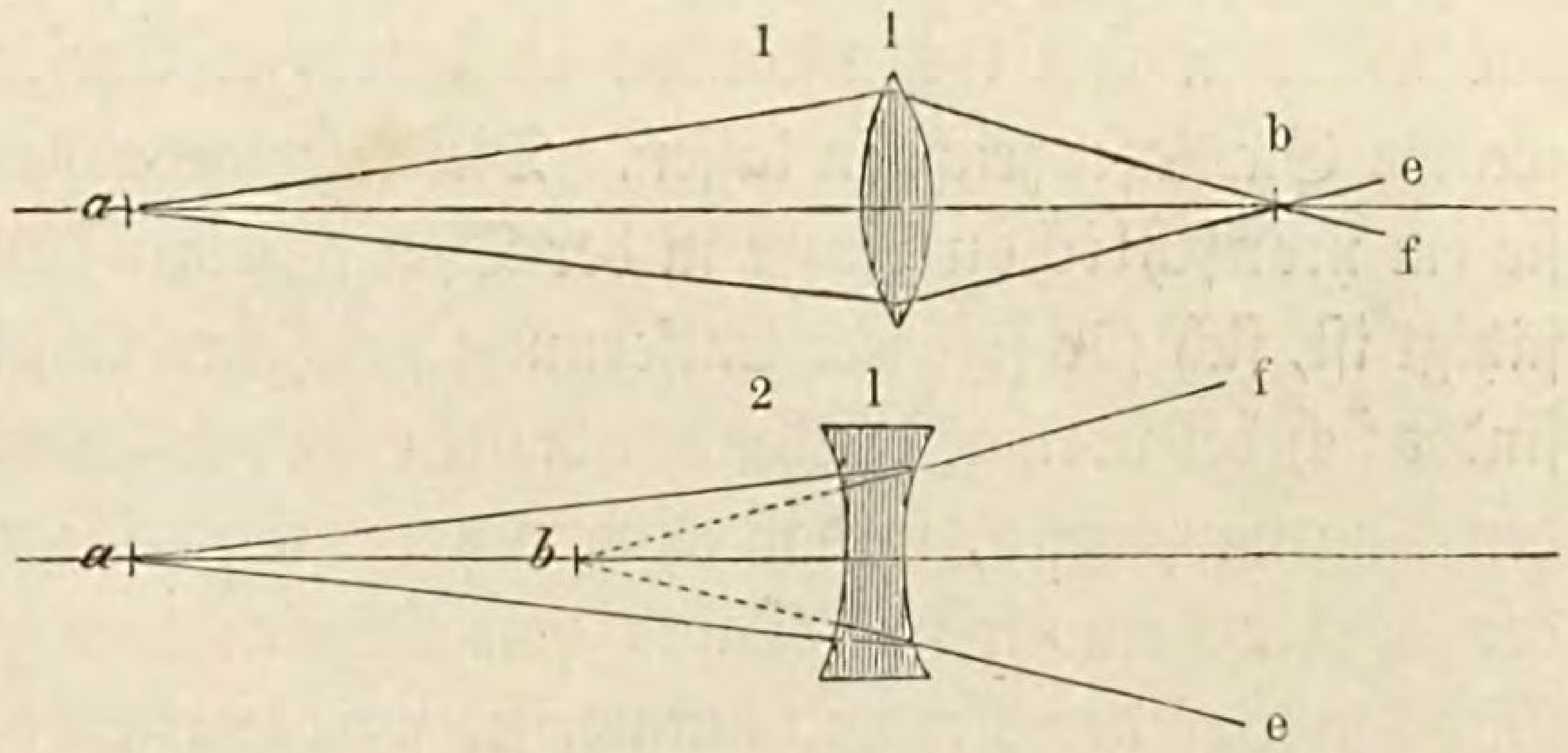
Wenn wir nach dem eben Gesagten für die Fähigkeit der Farbenwahrnehmung bei dem allereinfachst gedachten Sehorgan wenigstens drei verschiedene farbenempfindliche Endorgane der Sehnerven annehmen müssen, so setzt die Fähigkeit der Gestaltenwahrnehmung eine noch weit größere Anzahl von Sehnerven-Endapparaten im Auge un dgewisse optische Einrichtungen voraus. Durch die letzteren müssen von einem Punkt ausgehende (homozentrische) Lichtstrahlen im Auge selbst wieder in einem Lichtpunkt und zwar in einem Netzhautstäbchen oder -Zapfen in der Weise vereinigt werden, daß dadurch die Erregung nur einer Sehnervenfaser erfolgt. Dieser Aufgabe angepaßt sehen wir die lichtempfindliche Oberfläche der Netzhaut von einer Schicht außerordentlich zahlreicher, mosaikartig nebeneinander stehender lichtempfindlicher Organe, Stäbchen und Zapfen, gebildet, von denen wir jedes mit einer speziellen Sehnervenfaser in Verbindung stehend denken müssen. Außerdem sehen wir vor diese lichtempfindliche Fläche einen optischen lichtbrechenden Apparat: Hornhaut, Linse, Kammerwasser und Glaskörper, gestellt, welcher die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden (homozentrischen), in das Auge einfallenden Lichtstrahlen durch optische Lichtbrechung (etwa wie ein Brennglas oder eine optische Konvexglaslinse) auch wieder auf einen Punkt der Stäbchen- und Zapfenschicht der Netzhaut konzentriert. Infolge dieser Einrichtung macht das Licht für das Auge die ganze Sichtbarkeit zu einem feinsten Mosaik leuchtender Punkte, jeder sichtbare Punkt sendet Lichtstrahlen aus und beteiligt sich dadurch an der Herstellung dieses leuchtenden Mosaiks. Diese musivische Lichtfläche, welche die Außenwelt für unser Auge darstellt, ist aber in der gesehenen Weise nicht objektiv vorhanden, da von jedem leuchtenden Punkte Lichtstrahlen nach allen möglichen Seiten divergierend ausgehen, so daß sich die von den einzelnen Punkten einer leuchtenden Fläche ausgesendeten Lichtstrahlen objektiv auf das mannigfachste durchkreuzen und mischen. Aber das Auge besitzt, wie die Camera obscura (s. obenstehende Abbildung) des Photographen, wie gesagt, die optische Eigenschaft, die von einem Punkte ausgehenden Lichtstrahlen auch wieder in einem Punkte auf der lichtempfindlichen Fläche zu vereinigen und zwar in der Weise, daß alle die in das Auge von einem deutlich sichtbaren Gegenstand einfallenden Lichtstrahlen sich auf der lichtempfindlichen Fläche der Netzhaut zu einem Lichtbildchen des Gegenstandes vereinigen. Da, wie gesagt, die Netzhaut des Auges selbst ein ungemein feines Mosaik lichtempfindlicher Nervenendorgane darstellt, so entspricht den verschiedenen das Lichtbild im Auge zusammensetzenden leuchtenden kleinen Flächenabschnitten, Lichtpunkten, von der Größe des Querschnittes eines lichtempfindlichen Netzhautelements (Stäbchen oder Zapfen) je ein bestimmter Reizzustand eines der vom Bilde gedeckten, mosaikartig nebeneinander stehenden nervösen Endorgane. Das Lichtbildchen im Auge wird dadurch in ein musivisches Bildchen verwandelt von gleicher Ausdehnung und Gestalt wie jenes, in welchem aber die verschiedenen Helligkeiten und Farben des Lichtbildes durch bestimmte, von dem Licht verursachte Veränderungen der Sehnerven-Endorgane (Stäbchen und Zapfen der Retina) und infolge davon durch Reizzustände der mit jenen verknüpften Sehnervenfasern wiedergegeben sind. Wie wir das Auge des Menschen mit der Camera des Photographen vergleichen können, so scheint der erregende Vorgang in den Stäbchen und Zapfen der Retina, der von dem Lichte hervorgerufen wird wie auf der lichtempfindlichen Platte des Photographen, in chemischen Umänderungen zu bestehen. Das ist wenigstens sicher, daß chemische Veränderungen in der Netzhaut unter Einwirkung des



Schema einer Camera obscura. A) Wand der Camera obscura, l) Glaslinse, in eine verschiebbare Röhre eingesetzt, g) matte Glastafel, auf welcher das Bildchen erscheint.

Lichtes eintreten, und daß alle Nervenfasern durch verschiedene chemische Einwirkungen stark und leicht erregt, gereizt, werden können.

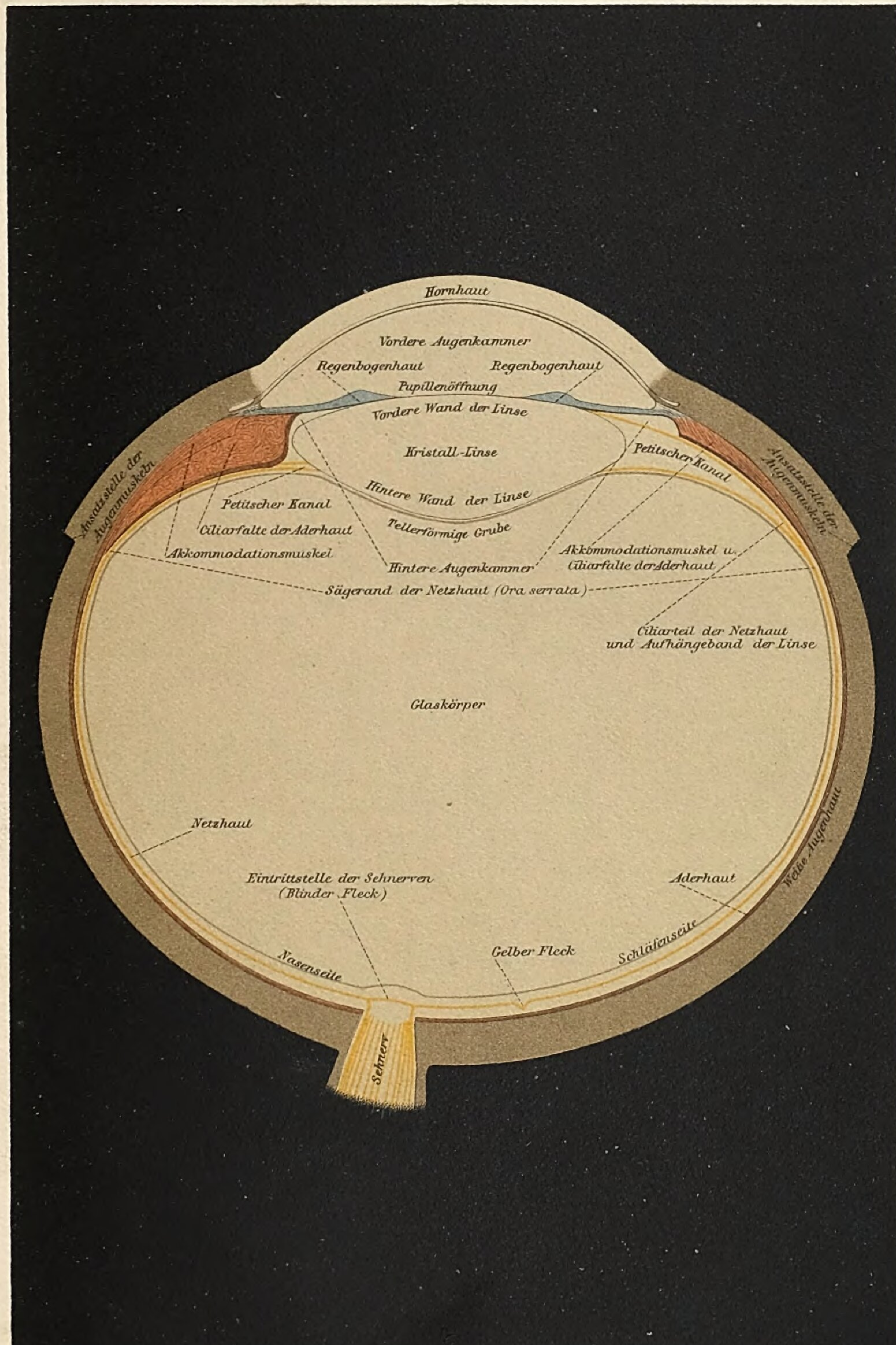
Um die optisch lichtbrechenden Einrichtungen des Auges richtig aufzufassen, dient am einfachsten der Vergleich mit einer photographischen Camera obscura (s. Abbildung, S. 586). Das Wesentliche an dem ganzen Apparat ist ein „Brennglas", ein linsenförmig (beiderseits konvex) geschliffenes Glas. Hält man ein solches Brennglas, d. h. eine Glaslinse (s. untenstehende Abbildung), gegen die Sonne, so daß einige ihrer Strahlen auf die Glaslinse treffen, so vereinigen sich diese in einer bestimmten Entfernung hinter der Glaslinse (im hinteren Brennpunkt) zu einem stark leuchtenden Punkte oder vielmehr zu einem stark leuchtenden kleinen Bildchen der Sonne. Die Camera dient nun dazu, durch Ausschluß alles störenden, von anderen Seiten her einfallenden Lichtes, auch von lichtschwächeren leuchtenden Gegenständen, d. h. von allen sichtbaren Objekten, durch eine solche Glaslinse Bildchen im Brennpunkt (respektive in der senkrecht hinter der Linse den Brennpunkt als Mittelpunkt einschließenden Brennebene) zu entwerfen. Die Camera ist nichts anderes als ein auf den Innenflächen tief mattschwarz gefärbter Kasten, in dessen vorderer Wand in einer aus- und einschiebbaren Röhre die Glaslinse senkrecht befestigt ist; die Rückwand des Kastens wird durch eine matte Glastafel gebildet. Die Einrichtung zum Ausziehen der Röhre und damit zur Einstellung der Glaslinse in größere oder geringere Entfernung von der matt geschliffenen, die Rückwand der Camera bildenden Glastafel (was bei der photographischen Camera auch durch Ausziehen der Camera selbst, wodurch ihre Rückwand nach hinten gerückt wird, ausgeführt werden kann) hat den Zweck, den Mittelpunkt der Tafel genau in den Brennpunkt der Glaslinse bringen, d. h. die matte Glastafel in die Brennebene der Glaslinse einstellen zu können. Wendet man nun die Vorderseite der Camera, d. h. ihre Glaslinse, gegen einen entfernten erleuchteten Gegenstand, so entsteht auf der (künstlich noch etwas beschatteten) matten Glastafel ein verkleinertes, umgekehrtes, aber vollkommen natürlich gefärbtes Bildchen des betreffenden Gegenstandes. Da näher vor der Glaslinse gelegene Objekte ihr Bildchen in größerer Entfernung hinter ihr entwerfen als von der Linse weiter entfernt stehende Objekte, so muß man, um scharfe Bildchen näherer Gegenstände auf der matten Glastafel der Camera zu erhalten, die Entfernung zwischen Glastafel und Linse entsprechend vergrößern. Zu diesem Behufe wird die ausziehbare Röhre, welche die Linse enthält, langsam ausgezogen, bis eben das Bildchen auf der Glastafel scharf gezeichnet erscheint; solange die richtige Entfernung zwischen Linse und Glastafel noch nicht getroffen ist, erscheint das Bildchen in den Umrissen und Farben verwaschen, ungenau. Die Entfernung der Linse von der Glastafel muß daher stets der Entfernung des abzubildenden Gegenstandes angepaßt oder akkommodiert werden, ohne diese Akkommodation ist das Bildchen nicht scharf gezeichnet, da die von jedem einzelnen seiner leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtstrahlen nicht in einem „Bildpunkt" vereinigt sind. Nur sehr entfernt von der Glaslinse befindliche leuchtende Punkte entwerfen ihr Bild in dem Brennpunkt, so daß nur von sehr entfernten beleuchteten oder selbst leuchtenden Gegenständen, z. B. von einer Landschaft, ein scharf gezeichnetes Bildchen in der Brennebene entsteht; für alle anderen näher stehenden Objekte bedarf es der eben beschriebenen Akkommodation der Camera.



1) Gang der Lichtstrahlen durch eine Konvex-, 2) durch eine Konkavlinse. a) Leuchtender Objektpunkt, b) Bildpunkt, 1) Linse, ef) Richtung der Lichtstrahlen hinter dem Bildpunkt.

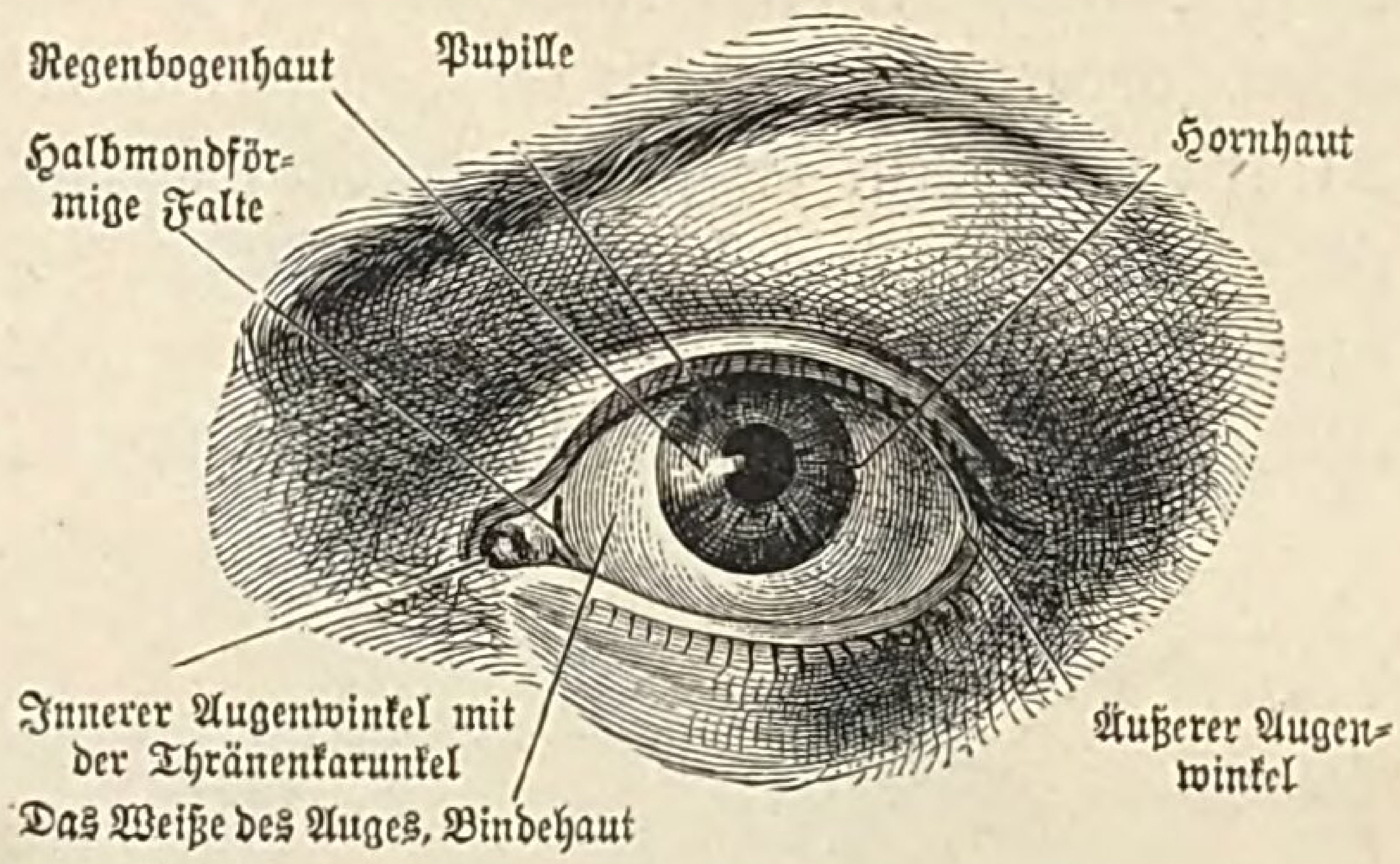
Man kann aber noch ein anderes Verfahren bei der Akkommodation anwenden. Da stärker gewölbte Glaslinsen die von einem Punkte ausgehenden Lichtstrahlen in geringerer Entfernung hinter sich in einem Punkte wieder vereinigen als schwächer gewölbte, so kann man, um von näher an der Camera stehenden Gegenständen ein scharfes Bildchen auf der matten Glastafel zu erhalten, entsprechend stärker gewölbte, d. h. stärker brechende Glaslinsen verwenden oder zwei oder mehrere schwächer brechende Glaslinsen hintereinander, die dann gemeinschaftlich wie eine stärker brechende Glaslinse wirken. Man kann sich leicht die Möglichkeit denken, was auch praktisch keineswegs unausführbar wäre, die lichtbrechende Glaslinse der Camera aus einem elastischen durchsichtigen Stoff herzustellen; würde man dann um den äußeren schmalen Rand der Glaslinse ein Kreisband legen, das man enger zusammenziehen kann, so würde die elastische Linse dadurch vom Rande her zusammengedrückt, ihre Wölbung damit entsprechend vergrößert und ihr Lichtbrechungsvermögen demgemäß gesteigert werden. Das Bildchen naher Gegenstände würde dann näher als vorhin hinter ihr erscheinen, und man könnte, ohne die matte Glastafel zu verrücken, einfach durch schwächere oder stärkere Wölbung der elastischen lichtbrechenden Linse das Bildchen von Gegenständen in beliebiger Entfernung von der Linse immer scharf auf der matten Glastafel zeichnen lassen. Dieser letztgedachte Fall entspricht etwa den Verhältnissen, wie sie im menschlichen Auge in der That gegeben sind, und durch welche das normale Auge befähigt ist, sich für fast jede Entfernung gesehener Objekte zu akkommodieren. Die Netzhaut befindet sich bei normal brechenden Augen ohne Akkommodation in der Brennebene des lichtbrechenden Augenapparats, so daß ohne weiteres ferne Gegenstände ihr scharf gezeichnetes Bildchen auf der Netzhaut entwerfen. Damit von näheren und ganz nahen Gegenständen auch ein scharfes Bildchen auf der Netzhaut entworfen werde, wird durch kombinierte Wirkung eines zum Teil muskulösen Druckapparats, der den Rand der elastischen Augenlinse umfaßt, die Augenlinse entsprechend stärker und zwar so stark gewölbt, daß gerade ein scharfes Bildchen des gesehenen Gegenstandes auf der Netzhaut erscheint. Die Akkommodation für die Nähe ist für unser Auge daher mit einer gewissen Anstrengung verbunden, so daß das Sehen für die Nähe ermüdet, während der Blick ins Weite ohne Anstrengung, weil ohne Akkommodation, erfolgt und daher das Auge nicht anstrengt, sondern ausruht. Wie gesagt, könnten, wie das beim Auge wirklich der Fall ist, an Stelle einer Glaslinse in der Camera obscura auch zwei Glaslinsen hintereinander gestellt verwendet werden, die dann gemeinschaftlich als eine stärker brechende Linse wirken. Ebenso kann die Camera, ohne ihre Wirkung wesentlich zu verändern, im Inneren aus einer soliden Glasmasse bestehen oder mit irgend einer anderen durchsichtigen festen oder flüssigen Substanz, etwa Wasser, gefüllt sein. Anderseits brechen z. B. entsprechend dicke Gläser, die nur an einer Stelle konvex geschliffen sind, d. h. jeder mit einer konvexen Fläche versehene lichtbrechende Körper, den doppeltkonvexen Linsen entsprechend. Um Uhrgläser in Glaslinsen zu verwandeln, legt man zwei genau aufeinander passende entsprechend zusammen und füllt sie mit Wasser, hohl wirken sie nicht; ein einzelnes mit Wasser gefülltes Uhrglas, welches etwa die vordere Öffnung einer mit Wasser gefüllten Röhre so verschließt, daß seine konvexe Oberfläche nach außen gewendet ist, wirkt aber wie eine Glaslinse. Diese letztere Einrichtung entspricht etwa der, wie wir sie an der Hornhaut des Auges finden werden, welche sich mit der Linse des Auges in die Aufgabe der Lichtbrechung in der Weise teilt, als wären im Auge zwei lichtbrechende Linsen hintereinander aufgestellt.

Wir treten nach diesen Vorbesprechungen an die spezielle Beschreibung des Auges heran, deren Verständnis uns nun kaum mehr große Schwierigkeiten machen wird. Als die wesentlichen Teile des Auges erscheinen uns: der nervöse lichtempfindliche Apparat, die Netzhaut, und der lichtbrechende Apparat, Hornhaut, Linse, Kammerwasser und Glaskörper. Beide



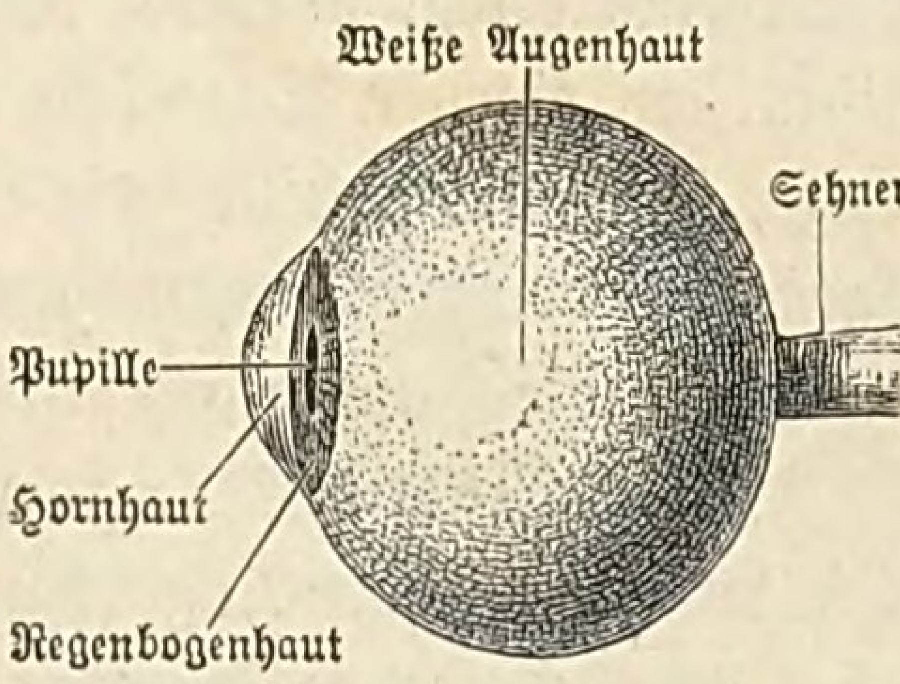
HORIZONTALSCHNITT DES RECHTEN AUGES.

bedürfen noch Schutz- und Ernährungsorgane, es sind das im Augapfel selbst die weiße Augenhaut und die Aderhaut. Doch ist diese Trennung nach den Funktionen der einzelnen Augenteile keine vollkommen durchgreifende. Unter den lichtbrechenden Teilen des Auges scheinen auch die Außenglieder der Stäbchen und Zapfen, welche wir zu dem lichtperzipierenden Teil rechnen müssen, eine vielleicht besonders wichtige Rolle zu spielen; die Hornhaut gehört als ein Teil der äußeren schützenden Hülle des Auges, der weißen Augenhaut, zu den Schutzapparaten, wirkt aber dabei auch als wichtiger lichtbrechender Apparat auf den Gang der Lichtstrahlen im Auge ein; die Aderhaut, das innere Haupternährungsorgan des Auges, wird für die genaue Zeichnung der Lichtbilder im Auge dadurch wichtig, daß ihr vor der Linse liegender, zentral durch die Pupille durchbohrter Abschnitt, die Regenbogenhaut oder Iris, als eine in der Weite veränderliche Blendung, als ein optisches Diaphragma, wirkt, wie wir solche Blendungen an allen optischen Instrumenten zur Regulierung der in diese einfallenden Lichtmenge verwendet finden; auch der oben erwähnte Akkommodationsmuskel, der die Linsenkrümmung verändert, verläuft in der Aderhaut. Ja, sogar die Netzhaut beteiligt sich mit ihrem vorderen nicht mehr nervösen Abschnitt als Aufhängeband der Linse an der Akkommodation.



Das linke Auge.

In dem Auge des Menschen (s. die beigeheftete Tafel „Horizontalschnitt des rechten Auges") unterscheiden wir den aus durchsichtigen Substanzen gebildeten, im allgemeinen annähernd kugeligen *Augenkern*, aus Glaskörper, Linse und Kammerwasser gebildet, und drei Hautschichten, welche, etwa wie bei einer Zwiebel übereinander liegend, diesen Augenkern schalenartig umgeben. An diesen Häuten unterscheidet sich stets der vordere kleinere Abschnitt von dem hinteren größeren, so daß dieser Unterschiede wegen jede dieser drei Häute als ein Hautsystem bezeichnet wird. Zunächst wird der durchsichtige Augenkern umhüllt von der *Netzhaut* (Retina), sie umhüllt den Glaskörper und gelangt mit ihrem vorderen Abschnitt, der keine Sehnervenelemente mehr enthält, bis zum Linsenrand; dieser vordere, der Sehempfindung nicht dienende Abschnitt heißt Ciliarteil der Netzhaut, er beteiligt sich wesentlich an der Bildung des schon genannten Aufhängebandes der Linse. Auf die Netzhaut folgt als zweite, mehr nach außen gelegene Hautschicht des Auges die *Gefäßhaut des Auges*; sie bedeckt den Augenkern beträchtlich weiter als die Netzhaut, indem sie den Linsenrand umgreift und über die Vorderfläche der Linse herabgeht, nur eine zentrale, runde Öffnung, *Pupille*, frei lassend. Ihr hinterer größerer Abschnitt bis zum Linsenrand heißt die *Aderhaut* (Choroidea), ihr vorderer kleiner, vor der Linse liegender, durch die Pupille durchbohrter Abschnitt heißt *Regenbogenhaut* (Iris). Die äußere, den ganzen Augenkern und die beiden unter ihr liegenden Hautsysteme umgreifende feste Hüllkapsel des Auges besteht aus dem Hautsystem der *harten Augenhaut*. Ihren größeren hinteren Teil bildet die undurchsichtige *weiße Augenhaut* (Sclerotica), ihren kleineren vorderen Abschnitt die durchsichtige, stärker gewölbte *Hornhaut* (Cornea), das Fenster des Auges.

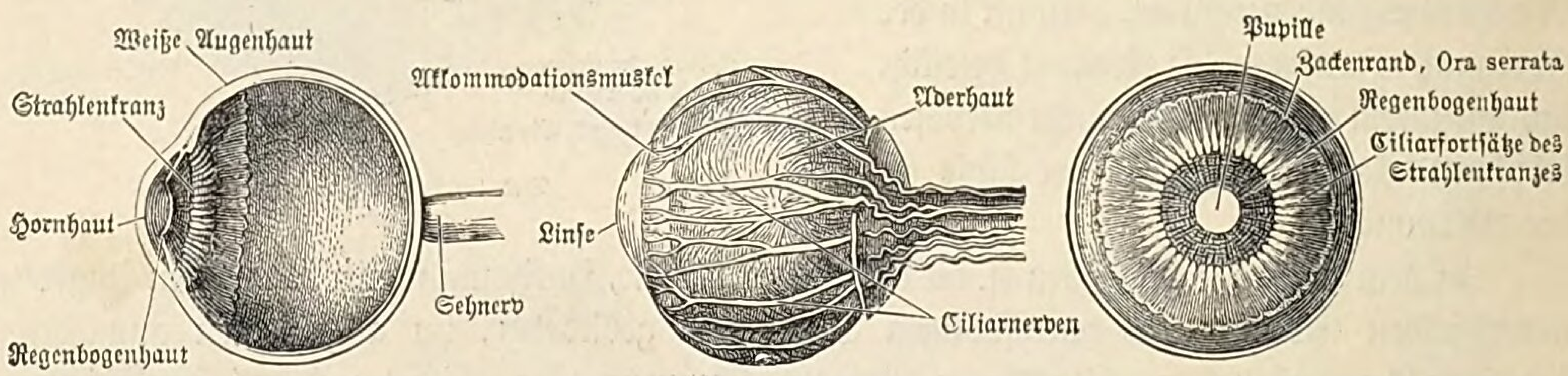


Der Augapfel.

Das „Weiße" des in seiner Augenhöhle normal befestigten Auges der Lebenden ist nicht die weiße Augenhaut, die Sclerotica, sondern eine weitere Hautschicht, die *Bindehaut* (Conjunctiva)

des Auges (s. Abbildung, S. 589, oben), welche von der Innenfläche der Augenlider auf die Oberfläche des Auges sich herüberschlägt und am Hornhautrand sich ansetzt; sie befestigt also gleichsam den Augapfel in der Augenhöhle und hat daher ihren Namen.

Wenn wir unser Auge im Spiegel betrachten, so erblicken wir innerhalb der Augenlider den Augapfel mit der weißen Bindehaut des Auges überzogen; in diesem Weißen des Auges sehen wir etwas stärker, etwa wie ein Uhrglas, hervorgewölbt die Hornhaut als ein konvexes, rundes Fenster des Auges. Hinter diesem durchsichtigen, spiegelnden Fenster zeigt sich die Regenbogenhaut, braun, grau oder blau gefärbt; in der Mitte hat sie eine absolut schwarze, scharf begrenzte Kreisscheibe (das Schwarze des Auges), das ist die zentrale, beim Menschen kreisrunde Öffnung der Regenbogenhaut, die Pupille, welche vor dem dunkeln Hintergrund des Auges schwarz erscheint. Ist der Hintergrund des Auges nicht vollkommen dunkel, wie bei den Albinos, so scheint die Pupille, da durch sie Licht aus dem Augeninneren zurückstrahlt, glänzend rot. Wenn man die Hornhaut das Fenster des Auges nennt, so kann man die Regenbogenhaut als Jalousie dieses Fensters bezeichnen, freilich nur mit einer Durchsichtsöffnung, der Pupille, die aber, entsprechend dem Lichtbedürfnis, bald verengert, bald erweitert werden kann



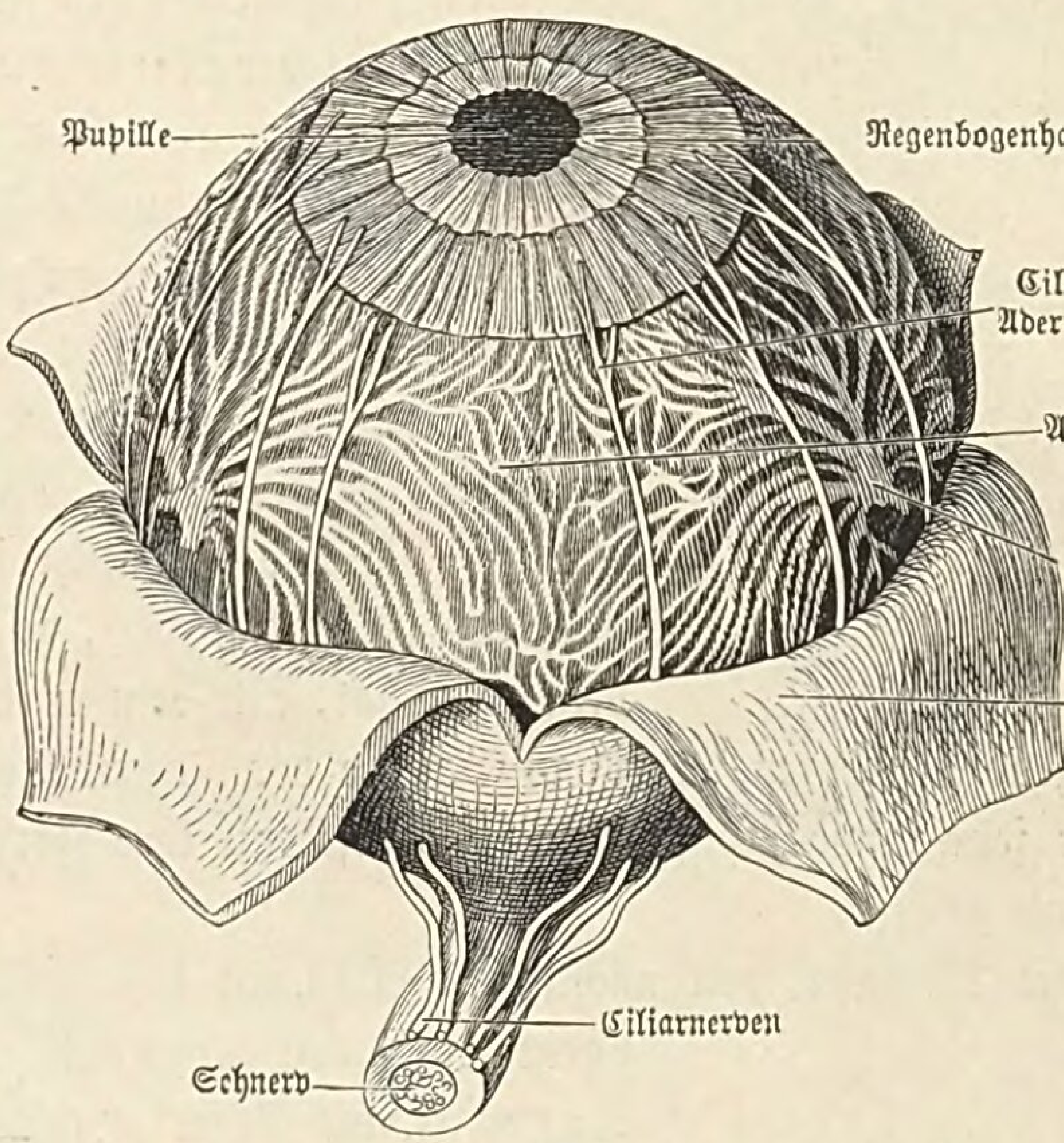
1) Die weiße Augenhaut und Aderhaut. 2) Der Augapfel nach Entfernung der weißen Augenhaut. 3) Vorderes Segment des Augapfels, von hinten gesehen.

und zwar durch in ihr gelegene Ring- und Quermuskelfasern, deren Nerven durch den Lichtreiz reflektorisch erregt werden. Wir können diese Erweiterung und Verengerung der Pupille jeden Abend am eigenen Auge sehr gut im Spiegel sehen. Betrachten wir zuerst im Halbdunkel das Auge, so ist die Pupille weit offen, ihre schwarze Fläche groß; nehmen wir nun ein Licht in die Hand und bringen dasselbe nahe an unser Gesicht, so daß dasselbe stark beleuchtet wird, so verengert sich die Pupille bis fast zu Stecknadelkopfgröße.

Die Gestalt des Augapfels (s. Abbildung, S. 589, unten) wird durch die harte Augenhaut, d. h. durch die weiße Augenhaut und Hornhaut gemeinschaftlich, bestimmt, welche dasselbe auch durch ihre bedeutende Festigkeit wirksam vor äußeren Eingriffen zu schützen vermögen. Die Form des Augapfels erscheint oberflächlich betrachtet kugelig, doch ist, wie schon erwähnt, die vordere Seite, nämlich die Hornhaut, stärker, uhrglasförmig, vorgewölbt und die hintere Seite meist ziemlich stark abgeplattet; sehr kurzsichtige Augen sind weniger abgeplattet und haben daher eine mehr längliche Form, ihre Augenachse, eine Linie, die man sich senkrecht durch den Mittelpunkt der Hornhaut und durch das ganze Auge direkt nach hinten gezogen denkt, ist länger als bei den nicht kurzsichtigen Augen.

Über den anatomischen Bau der weißen Augenhaut (s. obenstehende Abbildung) bemerken wir nur noch, daß sie aus festem Bindegewebe mit elastischen Fasern gleichsam gewebt erscheint. Sie ist biegsam, aber fast unausdehnbar und hat sehr wenig Blutgefäße und Nerven. Nicht in ihrer hinteren Mitte, sondern etwas nach unten und innen wird sie von dem Sehnervenstamm durchbohrt, der auch die Aderhaut durchsetzt, um sich unter dieser über den Glaskörper

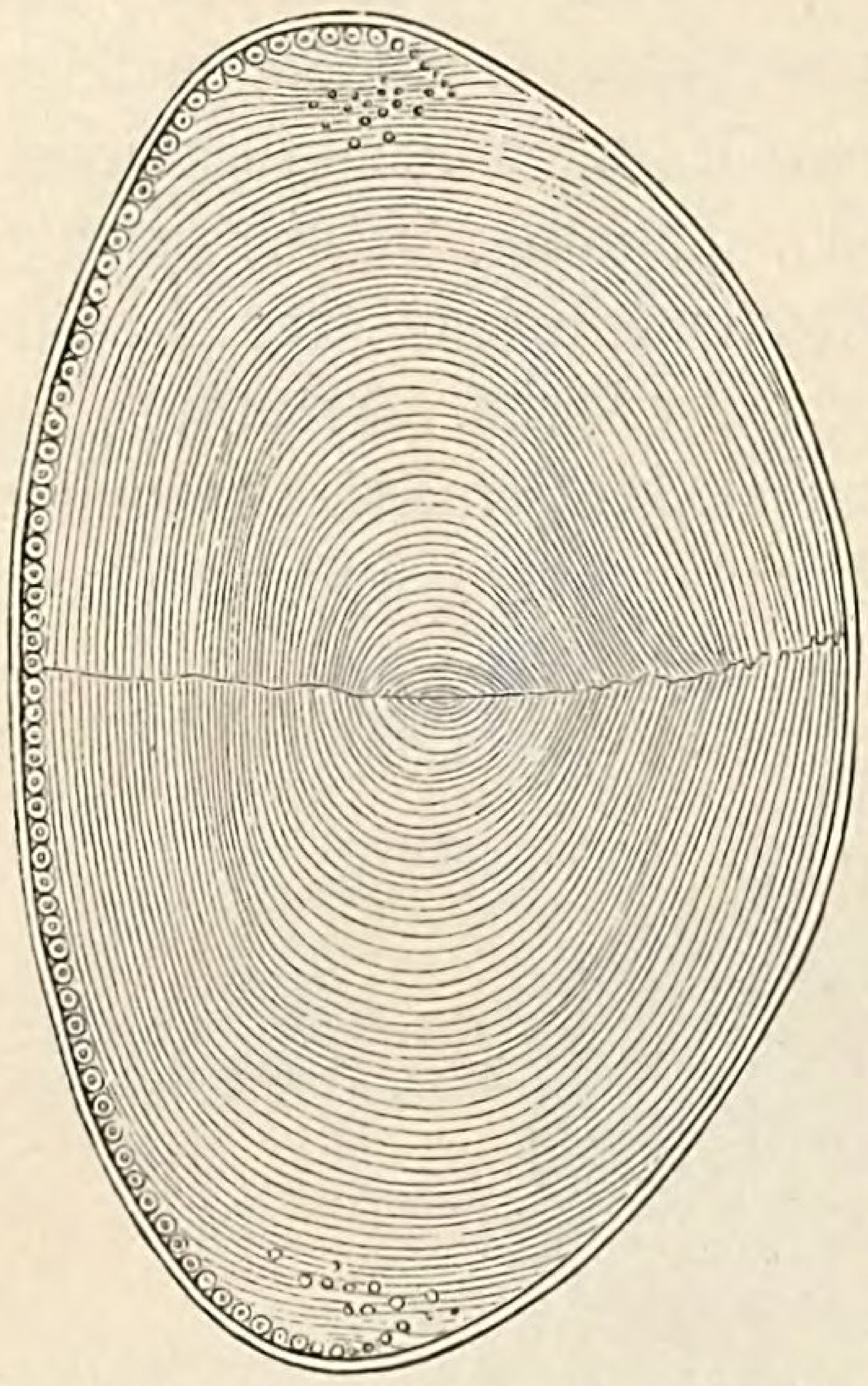
flächenhaft zur Netzhaut auszubreiten. Die Hornhaut gibt an Festigkeit der weißen Augenhaut, von der sie ja nur der durchsichtige vordere Abschnitt ist, nichts nach; Blutgefäße besitzt sie nur an ihrem Randsaum; auch die Hornhaut besteht, abgesehen von einer äußeren und inneren, aus Zellen gebildeten, bedeckenden Schicht, aus Bindegewebe; ihre Grundsubstanz ist mit Saftkanälchen reichlich durchzogen, in deren erweiterten Kreuzungsräumen die verästelten Hornhautzellen liegen. Die vordere Fläche der Hornhaut, an welcher die Lichtbrechung stattfindet, ist nicht wirklich kugelig gewölbt, sondern sie ist sehr nahe ein Abschnitt eines Rotationsellipsoids, das um seine längere Achse, deren Ende im Mittelpunkt der Hornhaut liegt, gedreht erscheint. Helmholtz hat ein geistvolles Instrument, Ophthalmometer, konstruiert, um aus der Ferne die Krümmung der Hornhaut am Lebenden genau bestimmen zu können. Die Krümmung der Hornhaut ist zwar bei verschiedenen Personen verschieden, wir werden aber hören, daß diese Verschiedenheit nicht etwa die Kurzsichtigkeit bedingt.



Die Regenbogen- und Aderhaut nach Ablösung der weißen Augenhaut.

Die Aderhaut (s. Abbildung, S. 590) kleidet innen die weiße Augenhaut in ihrem hinteren Abschnitt tapetenartig aus; noch ehe sie aber den Rand der Hornhaut erreicht hat, biegt sie sich von der weißen Augenhaut ab und legt sich im weiteren Verlauf an die Vorderfläche der Linse an, welche sie als Regenbogenhaut, Iris, bis auf die der Pupillaröffnung entsprechende Zentralpartie bedeckt. Die Hauptmasse der Aderhaut wird von Blutgefäßen gebildet, die äußere, der weißen Augenhaut zugewendete Fläche der Aderhaut zeigt eine dunkelbraun gefärbte Pigmentschicht, das braune Blatt der Aderhaut; an der Übergangsstelle der eigentlichen Aderhaut in die Regenbogenhaut, wo sie fester mit der weißen Augenhaut verbunden ist als an den übrigen Teilen, umkreist die Übergangsstelle als ein ringförmiges, graues, 3—4 mm breites Band der Akkommodationsmuskel, Ciliarmuskel. Gegen die Netzhaut ist die Aderhaut durch eine Glashaut abgegrenzt, doch sitzt die äußere Schicht der Netzhaut, die aus Pigmentzellen gebildete Pigmentschicht der Netzhaut, so fest an derselben an, daß diese Pigmentschicht regelmäßig bei dem Trennungsversuch beider Augenhäute an der Aderhaut hängen bleibt, was früher Veranlassung gab, sie als innere Pigmentschicht der Aderhaut zu beschreiben. Die innere, der Netzhaut zugewendete Fläche der Aderhaut zeigt in ihrem vorderen Abschnitt, dem Ciliarkörper (s. Abbildung, S. 590), einen Kranz meridional (d. h. von hinten nach vorn) gerichteter, hauptsächlich aus Blutgefäßen gebildeter Falten, etwa 70—80 an der Zahl, welche sich mit einem zierlichen Zackenrand (Ora serrata) von der sonstigen glatten inneren Fläche der Aderhaut absetzen. Diese Falten erheben sich gegen die Regenbogenhaut zu, erreichen ihre größte Höhe in der Gegend des äußeren Linsenrandes und fallen dann steil gegen die Regenbogenhaut ab, auf deren Hinterfläche sich aber doch die meisten als geringe Erhebungen fortsetzen. Von dem Zackenrand an

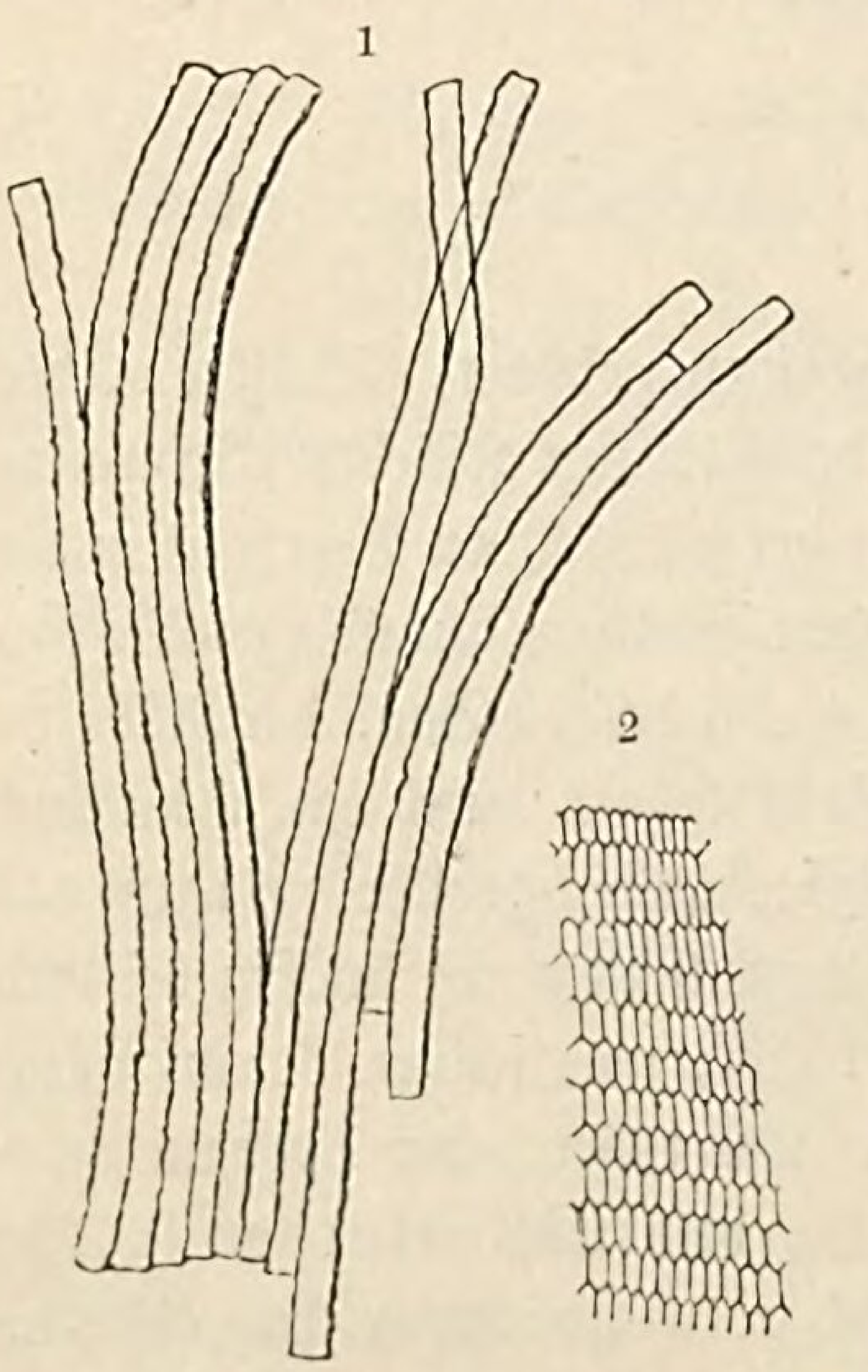
verbinden sich Aderhaut und Netzhaut noch inniger miteinander unter Zunahme der Pigmentschichten. Diese innere Pigmentschicht ist es vorzüglich, die der geschwärzten Innenfläche einer Camera obscura entspricht.



Meridionaler Schnitt durch die Achse der Augenlinse des Menschen. Vergrößert.

Die Regenbogenhaut, der vordere Abschnitt der Gefäßhaut, liegt, als optische Blendung, wenigstens mit ihrem Pupillarrand der Vorderfläche der Linse dicht an, so daß Lichtstrahlen nur durch den zentralen Abschnitt der Linse, welcher von der hier von der Pupille durchbohrten Regenbogenhaut unbedeckt bleibt, einfallen können. Die Regenbogenhaut hat auf ihrer hinteren Fläche bei allen Augen eine braune Pigmentschicht; bei den braunen und mehr noch bei den sogenannten schwarzen Augen (d. h. Regenbogenhäuten) ist auch das übrige Gewebe der Regenbogenhaut mit Pigmentzellen durchsetzt, die dunkle Farbe der Regenbogenhaut rührt von diesen letzteren Pigmentzellen her. Befindet sich aber nur auf ihrer Rückfläche, nicht aber in ihrem Gewebe selbst Pigment, so erscheint die Regenbogenhaut, wie der Himmel, als ein trübes Medium vor einem dunkeln Hintergrund blau. Da sich die Pigmentzellen im Regenbogenhautgewebe erst nach der Geburt färben, so sollen, wie schon Aristoteles behauptet hat, alle Kinder mit mehr oder weniger dunkelblauen Augen geboren werden. Ist das Gewebe der Regenbogenhaut dicker oder sonst weniger durchsichtig oder sehr schwach pigmentiert, so erscheint ihre Farbe vor ihrem dunkeln Pigment auf der Rückwand grau.

Ehe wir die Netzhaut, den wichtigsten Abschnitt des Auges, beschreiben, betrachten wir vorher noch den durchsichtigen Augenkern. Der Kern des Auges (s. die Tafel „Horizontalschnitt des rechten Auges") wird von drei verschiedenen Gebilden hergestellt. Die kugelige Hauptmasse des Augenkerns bildet der vollkommen glasartig durchsichtige, wasserklare Glaskörper. Seine Vorderseite besitzt eine konkave, tellerförmige Vertiefung, in welcher die ebenfalls vollkommen glasartig durchsichtige Linse des Auges mit ihrer Hinterfläche eingebettet ist. In Verbindung mit der Linse bildet der Glaskörper einen nahezu kugeligen, aus glasartig durchsichtiger Masse bestehenden Körper. Zwischen der Vorderfläche der Linse und der an ihr anliegenden Regenbogenhaut und Hinterfläche der Hornhaut bleibt ein von den bisher genannten Gebilden des Augenkerns nicht ausgefüllter Raum, die vordere Augenkammer; dieser Raum ist mit einer wässerigen Substanz, der wässerigen Augenfeuchtigkeit oder dem Kammerwasser, ausgefüllt. Ein geringfügiger, mit wässeriger Feuchtigkeit gefüllter Spaltraum bleibt auch zwischen der Hinterfläche der Regenbogenhaut und den Randteilen der Linse, an welche sich die Regenbogenhaut, die mit ihrem Pupillenrand direkt an der Vorderfläche der Linse anliegt, nicht genau anlegt (hintere Augenkammer). Am Glaskörper unterscheidet man eine geschichtete

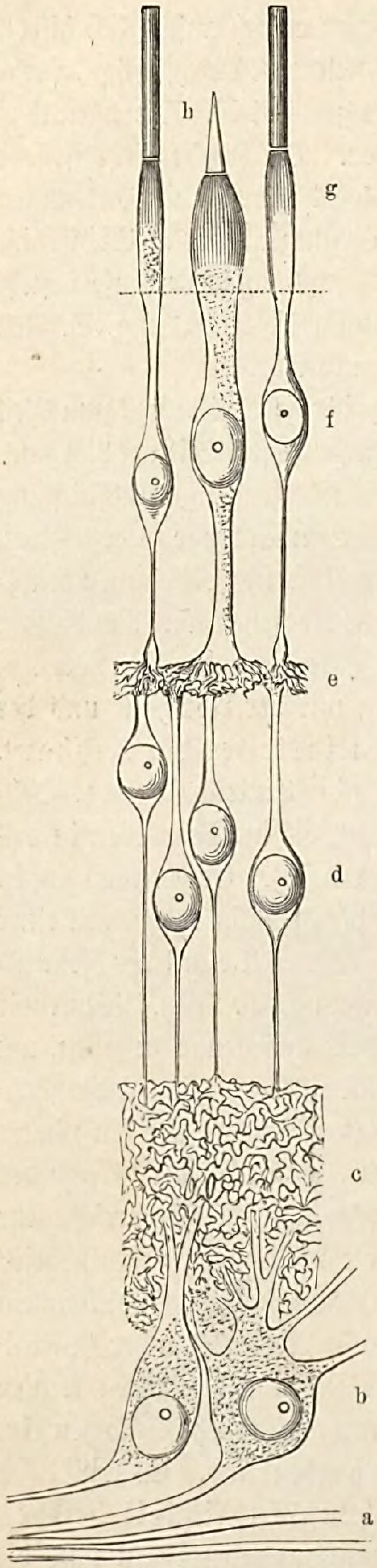


Linsenfasern, stark vergrößert. 1) Vom Ochsen, in der Längenansicht, mit leicht zackigen Rändern. 2) Vom Menschen, im Querschnitt.

Rinde und einen mehr gleichartigen Kern; von den Zellen, aus denen er sich anfänglich bildet, ist später nur noch wenig zu sehen. Die Kristalllinse des Auges stellt eine durchsichtige, farblose, bikonvexe Linse dar, deren hintere Fläche stärker als die vordere gewölbt ist. Die eigentliche Linsensubstanz ist im Kern etwas dichter als in den Außenschichten. Die frische Linse ist sehr elastisch und dehnbar, sie gibt jeder äußeren Gewalt leicht nach und kehrt schnell und vollkommen in ihre frühere Form zurück, sobald die äußere gestaltverändernde Wirkung aufhört. Sie ist mit einer glashellen Wandschicht, der Linsenkapsel, umgeben. Die Hauptmasse der Linse besteht aus den mikroskopischen Linsenfasern, deren Gestalt und Anordnung die Abbildung, S. 592 erläutert. Die wässerige Augenfeuchtigkeit ist vollkommen strukturlos.

Der Glaskörper und der obere Linsenrand treten in direkte und wichtige Beziehung, zum Teil durch Verwachsung mit der Innenschicht und dem vorderen, nicht mehr nervösen Teil der Netzhaut. Man pflegt die Netzhaut (Retina), die in der Entwickelung zuerst als blasenartige Ausstülpung des Gehirns angelegt wird, als die flächenhafte Ausbreitung der Sehnerven im Auge zu bezeichnen. Ihr inneres Blatt, das im engeren Sinn Netzhaut heißt, ist im frischen Zustand vollkommen durchsichtig, nimmt aber nach dem Tode rasch ein milchig-weißliches, trübes Aussehen an. Am dicksten ist die Netzhaut im Hintergrund des Auges und verdünnt sich bis zum Zackenrand, der Ora serrata, verliert daselbst ihre nervöse Beschaffenheit, verbindet sich hier innig mit der Aderhaut und der Glashaut des Glaskörpers und erhält von hier an den Namen des Ciliarteiles der Netzhaut. In der Tiefe des Auges, etwas nach innen von der Mitte, zeigt sich die Eintrittsstelle des Sehnerven als weiße, in ihrer Mitte von den eigenen Gefäßen der Netzhaut, die im Sehnerven in das Augeninnere gelangen, durchsetzte Kreisscheibe (der blinde Fleck des Auges). Etwas nach außen nach der Schläfenseite hin liegt im Menschenauge der gelbe Fleck, die Macula lutea, mit einer verdünnten Stelle in der Mitte, der Zentralgrube der Netzhaut; der gelbe Fleck mit der Zentralgrube ist die Stelle des deutlichsten direkten Sehens (s. Abbildung, S. 583). Wenn wir unsere Augen auf einen Gegenstand hin richten, um ihn möglichst scharf und genau zu sehen, um ihn zu fixieren, so entwirft er sein Bildchen im Auge auf dem gelben Fleck. Hier ist die Sehempfindlichkeit des Auges am größten, von hier aus gegen die seitlichen Netzhautteile hin nimmt die Sehempfindlichkeit zuerst langsam, dann in steigendem Grade ab, bis sie an der Grenze des Ciliarteiles der Netzhaut, also an dem Zackenrand, vollkommen verschwindet. Diese verschiedene Sehempfindlichkeit verschiedener Netzhautabschnitte erklärt sich, wie die vollkommene „Blindheit" des blinden Fleckes, daraus, daß an den Stellen, denen die Lichtempfindlichkeit vollkommen abgeht, die Netzhaut-Endorgane der Sehnerven, die Stäbchen und Zapfen, fehlen. In der Zentralgrube des gelben Fleckes finden sich nur Zapfen, an der Grenze desselben stehen zuerst wenige Stäbchen zwischen den Zapfen, in weiterer Entfernung schieben sich mehr und mehr Stäbchen ein, bis letztere an den Randpartien der Netzhaut nur noch allein vorhanden sind. Es ergibt sich daraus direkt, daß die Zapfen eine höhere und feinere Lichtempfänglichkeit besitzen als die Stäbchen, da an der Stelle, welche das feinste Lichtempfindungsvermögen hat, die Zapfen allein vorhanden sind. Wie gesagt, schreibt man den Zapfen auch speziell die Farbenempfindlichkeit des Auges zu.

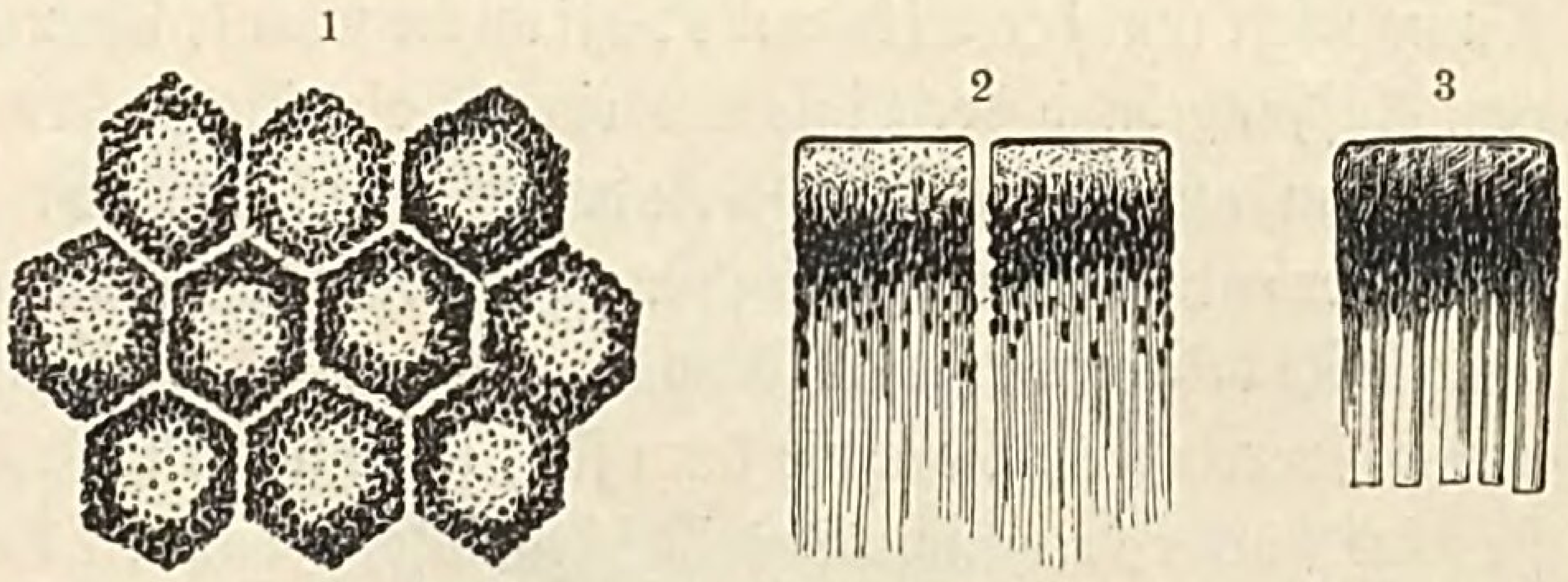
Die Netzhaut besteht aus einer Anzahl von Schichten (s. Abbildung, S. 594), man unterscheidet jetzt zehn derselben. Das Wesentliche der Netzhautelemente bilden Nervenfasern, aus dem Sehnerven stammend, in deren Verlauf Nervenzellen von verschiedener Form, größere Ganglienzellen und kleinere sogenannte Körner eingeschaltet sind; zuletzt gelangen Nervenfäserchen zu den peripherischen optischen Endapparaten der Netzhaut, den Stäbchen und Zapfen, welche mosaikartig nebeneinander auf einer Fläche angeordnet stehen, und deren Endglieder von pigmentierten Scheiden einer



Netzhautschichten des Auges, sehr stark vergrößert.
a) Nervenfaserschicht, b) Nervenzellenschicht, c) innere granulierte Schicht, d) innere Körnerschicht, e) äußere granulierte Schicht, f) äußere Körnerschicht, g) äußere Grenzhaut der Netzhaut, h) Stäbchen- und Zapfenschicht.

Pigmentzellenschicht, der schon erwähnten Pigmentschicht der Retina, welche man früher fälschlich der Aderhaut als innere Pigmentzellenschicht zuteilte, einzeln umgeben sind. Die nervösen Elemente der Netzhaut, deren Nervenfasern und Zellen denen des Gehirns entsprechen, sind in ein zartes bindegewebiges Gerüst eingebettet, welches ebenfalls dem bindegewebigen Gerüst der Nervenzentralorgane entspricht und Blutgefäße und Lymphgefäße zur Ernährung der Netzhaut führt. Die nebenstehende Abbildung zeigt die Mehrzahl der Retinaschichten. Die erste, direkt dem Glaskörper angelagerte Schicht fehlt in der nebenstehenden Abbildung, welche nur die nervösen Elemente der Netzhaut darstellt; diese innerste Schicht bildet ein glasartig durchsichtiges, strukturloses Häutchen, die innere Grenzhaut der Retina, welche direkt dem Glaskörper anliegt. Die zweite Schicht (a), die Nervenfaserschicht, wird aus dickeren Nervenfasern gebildet, welche mit den großen, vielästigen Nervenzellen der dritten Schicht (b), der Nervenzellenschicht, in direkte Verbindung treten. Die nach außen gewendeten Fortsätze der Nervenzellen der dritten Schicht lösen sich in feine Fäserchen auf, die als eine Art von vielverschlungenem Netzwerk die ziemlich dicke vierte Schicht (c), die man als innere granulierte Schicht bezeichnet, darstellen. Aus dieser Schicht erheben sich gestreckt verlaufende feine Nervenfäserchen, welche in kleine Nervenzellen, die sogenannten Körner der fünften Schicht (d), eintreten, von denen sich wieder senkrecht verlaufende Fasern erheben; diese Abteilung der Netzhaut wird als die innere Körnerschicht bezeichnet. Auf diese folgt die ziemlich dünne sechste Schicht (e), die äußere granulierte Schicht, in welcher sich die aus den inneren Körnern hervorgegangenen Nervenfäserchen wieder zu einem verschlungenen Netzwerk verfilzen. Aus diesem erheben sich senkrecht aufsteigende Fasern, teils dickere, teils feinere; beide treten in Verbindung mit kleinen Nervenzellen, den äußeren Körnern, welche die siebente Schicht (f), die äußere Körnerschicht, bilden. Von den äußeren Körnern steigen wieder senkrechte Nervenfasern empor, entsprechend den an die äußeren Körner von unten herantretenden, ebenfalls teils feiner, teils dicker, so daß diejenigen äußeren Körner, welche dickere Fasern aus der äußeren granulierten Schicht von untenher erhalten haben, auch wieder dickere Fasern nach oben abgeben und umgekehrt. Diese Fasern werden noch zur äußeren Körnerschicht gerechnet. Die letztere wird begrenzt durch eine zarte, in der Abbildung durch eine punktierte Linie angedeutete glasartige Grenzschicht, die achte Schicht (g), die äußere Grenzhaut der Netzhaut. Sie trennt an Netzhautquerschnitten als eine scharfe Grenzlinie die äußere Körnerschicht von der neunten Netzhautschicht, der Stäbchen- und Zapfenschicht (h), ab; die Fasern der äußeren Körnerschicht durchsetzen aber die äußere Grenzhaut der Retina und treten in Verbindung mit den Stäbchen und Zapfen der neunten Schicht.

Die Stäbchen und Zapfen sind mikroskopische Gebilde, welche in ihrer Form an die uns schon bekannten Sinnesnervenorgane in den anderen Sinnesorganen erinnern (s. Abbildung, S. 594). Die Stäbchen haben eine cylindrische Gestalt, etwa dreimal so lang als breit. Sie stehen an den seitlicheren Teilen der Netzhaut, wo sie in Masse vorkommen, dicht aneinander; in die engen Zwischenräume, welche zwischen ihnen, zum Teil schon bedingt durch ihre cylindrische Gestalt, bleiben, schieben sich faserähnliche Fortsätze der Pigmentzellen der Pigmentschicht der Netzhaut ein. In ziemlich regelmäßigen Abständen stehen zwischen ihnen in den mehr äußeren Teilen der Netzhaut die Zapfen. Diese Zapfen sind kürzer und an der Basis dicker als die Stäbchen und haben eine flaschenförmige Gestalt, die in eine konische Spitze ausgeht, welche den Flaschenhals vorstellt. Sowohl an Stäbchen als Zapfen unterscheidet man Außenglied und Innenglied. Das Außenglied beider zeichnet sich durch ein stärkeres Lichtbrechungsvermögen vor dem Innenglied aus, das Außenglied der Zapfen ist durchschnittlich kürzer und steht etwas tiefer als das der Stäbchen. Auf den dickeren, von der äußeren Körnerschicht sich erhebenden Fasern stehen die Zapfen, auf den feineren die Stäbchen. Die zehnte Schicht der Netzhaut bildet die Schicht des Netzhautpigments (s. beistehende Abbildung); die Entwickelungsgeschichte lehrt mit Bestimmtheit, daß sie ein Teil der Netzhaut selbst ist. Ihre Zellen sind auf dem Querschnitt sechseckig und sehr regelmäßig geformt, nach unten senden sie die schon erwähnten langen Fortsätze zwischen die Außenglieder der Stäbchen und Zapfen, um diese mit einer Pigmentscheide zu umhüllen und dadurch für die Lichtstrahlen voneinander abzusondern.



Pigmentzellen der Netzhaut. 1) Von oben, 2 und 3) von der Seite gesehen, wo ihre Pigmentfortsätze sichtbar werden.

Verfolgen wir schematisch in umgekehrter Richtung wie vorhin den Nervenfaserverlauf in der Netzhaut, so dürfen wir annehmen, obwohl hier im einzelnen noch so manches aufzuklären bleibt, daß von dem Endglied jedes Zapfens oder Stäbchens eine feine Nervenfaser abgeht, welche nach kurzem Verlauf sich mit einer der kleinen Nervenzellen, Körner, der äußeren Körnerschicht verbindet; von hier verläuft sie weiter, durchsetzt die äußere granulierte Schicht und senkt sich in eine zweite kleine Nervenzelle, in ein Korn der inneren Körnerschicht, ein; von diesem verläuft sie zur inneren granulierten Schicht, durchsetzt diese und gelangt zu einer der großen Nervenzellen in der Nervenzellenschicht, in der sich die feinen Fäserchen zu dickeren Nervenfasern vereinigen, welche durch die Nervenfaserschicht in die Eintrittsstelle des Sehnerven in die Netzhaut gelangen, wo alle dessen Nervenfasern vereinigt sind, und die von da aus durch den Stamm der Sehnerven zu dem Gehirn verlaufen. Es soll noch speziell darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Stäbchen- und Zapfenschicht direkt gegen die Aderhaut zugewendet ist, also, abgesehen von der Pigmentschicht, die äußerste, vom Glaskörper am weitesten entfernte Schicht der Netzhaut darstellt. Die Stäbchen und Zapfen der Menschennetzhaut sind also von den durch die Hornhaut zuletzt in den Glaskörper und die Netzhaut selbst einfallenden Lichtstrahlen abgewendet.

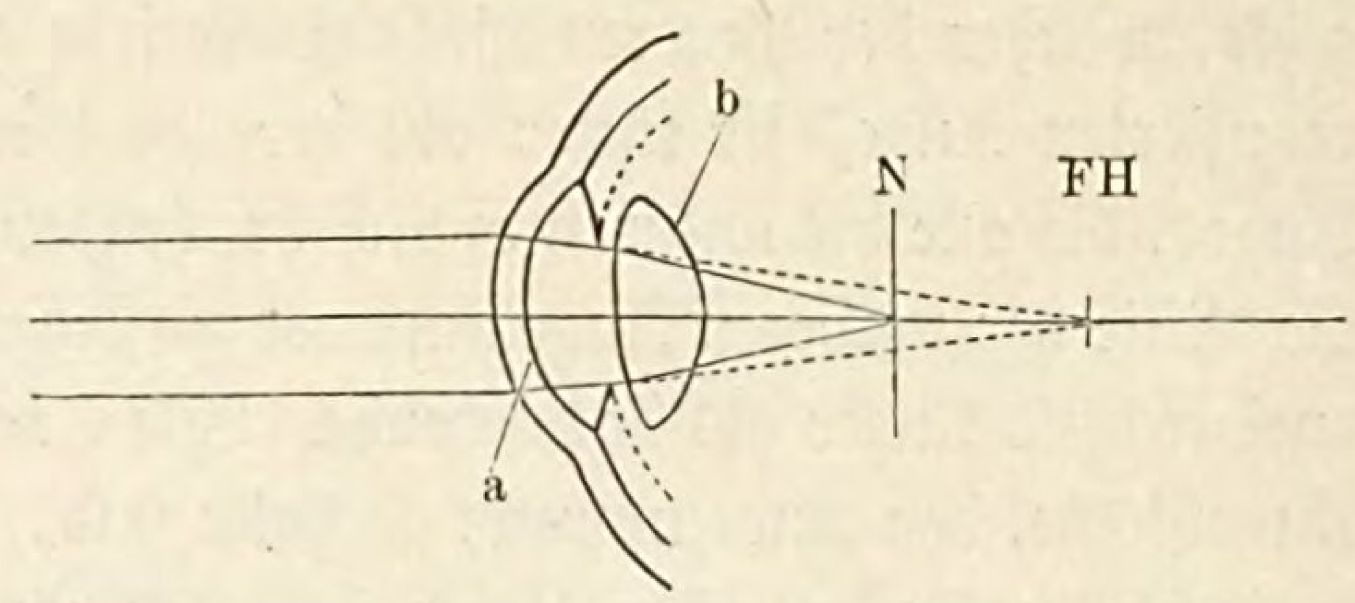
Der gelbe Fleck (s. die Tafel „Horizontalschnitt des rechten Auges" und Abbildung, S. 583) erscheint im lebenden Auge von dunkel braunroter Farbe infolge eingelagerter Pigmentkörnchen, Farbstoffkörnchen, die hier in den tieferen Netzhautschichten verbreitet sind; in der Zentralgrube ist dieser Farbstoff am tiefsten gefärbt. In dem gelben Fleck stehen, wie gesagt, nur Zapfen, dieselben sind aber länger und dünner als in den peripherischen Netzhautteilen und mehr den Stäbchen ähnlich, namentlich darin, daß ihre Außenglieder länger werden. Auf dem

gelben Fleck stehen die Zapfen in Bogenlinien, die nach der Zentralgrube zu konvergieren. In die Zentralgrube treten keine Blutgefäße ein.

Durch die Vereinigung des Ciliarteils der Netzhaut mit der Grenzhaut des Glaskörpers wird das **Aufhängeband der Linse**, die Zonula Zinnii, gebildet. Das Verhältnis ist ungefähr so, als spalte sich der Ciliarteil der Netzhaut in zwei gesonderte Blätter, von denen das eine an den hinteren, das andere an den vorderen Rand der Linse sich ansetzt, einen kleinen, mit Flüssigkeit gefüllten, den Linsenrand umgreifenden Kanal bildend. Von oben und außen her wird durch die Falten des Ciliarkörpers das äußere Blatt des Aufhängebandes krausenartig eingedrückt. In dem Umkreis des Aufhängebandes der Linse sind alle Augenhäute straff untereinander und also auch mit dem Linsenrand verwachsen. Das Aufhängeband ist für die Linse gleichsam zu kurz, es übt also vom Zentrum allseitig gegen den Rand der Linse hin einen dehnenden Zug auf die Linse aus, der an sich, ohne irgend welche Muskelwirkung, die Linse etwas abflacht. Löst man die Linse aus der Verbindung mit ihrem Aufhängeband, so wölbt sie sich daher etwas stärker und wird dadurch, wie wir hörten (s. S. 587), stärker lichtbrechend. In demselben Sinne wirkt nun der **Akkommodationsmuskel**, der nach dem oben Gesagten (s. S. 591) über dem Aufhängeband der Linse als ein Muskelring an der Grenze zwischen Aderhaut und Regenbogenhaut, auf der äußeren Fläche der Aderhaut, hinzieht. Zieht sich dieser Muskelring zusammen, so läßt er entsprechend das Aufhängeband der Linse erschlaffen; der auf die Linse von dem letzteren ausgeübte dehnende, sie abflachende und dadurch optisch schwächer brechend machende Zug wird dadurch verringert, die Linse kann sich, ihrer natürlichen Elastizität entsprechend, stärker wölben, sie wird stärker brechend. Das ist schematisch der innere Vorgang bei der **Akkommodation des menschlichen Auges** für das Sehen naher Gegenstände, deren Bild ohne Akkommodation hinter der Netzhaut erst entstehen würde, durch die Akkommodation aber auf der Netzhaut selbst entworfen wird. Der Vorgang ist nach dem oben betreffs der Akkommodation der Camera obscura Gesagten nun leicht verständlich.

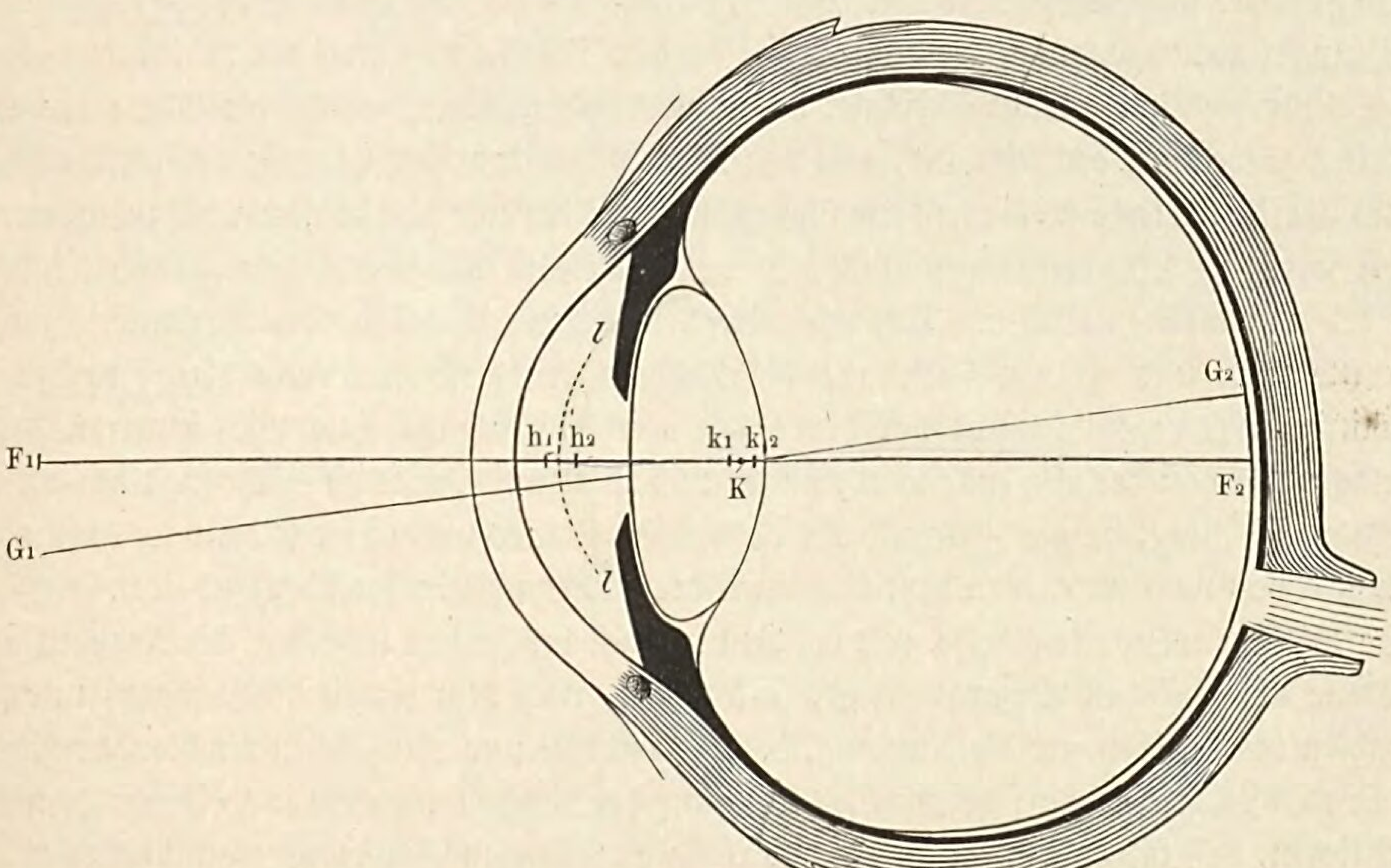
Verfolgen wir nun den **Gang der Lichtstrahlen im Auge** selbst. An der Strahlenbrechung im Auge beteiligt sich am stärksten die Hornhaut, dann folgen die vordere und die hintere Linsenfläche. Die in das Auge einfallenden, von sehr entfernten Punkten ausgehenden (parallelen) Lichtstrahlen werden von der Hornhaut allein schon so gebrochen, daß sie etwa 10 mm hinter der Netzhaut (in dem hinteren Brennpunkt der Hornhaut) zur Vereinigung kommen würden (s. Abbildung, S. 597, oben). Die Lichtstrahlen treffen aber nach dem Durchtritt durch die Hornhaut schon stark konvergierend auf die Linse, welche die Konvergenz, die Gegeneinanderneigung, der Lichtstrahlen so weit steigert, daß der Vereinigungspunkt der Strahlen auf die Netzhaut trifft. In dem Auge haben wir also im wesentlichen ein System senkrecht hintereinander **zentriert** aufgestellter optisch brechender Flächen, welche zusammen wie eine einzige Glaslinse wirken. Der Vorteil der Anwendung der Kristalllinse hinter der Hornhaut beruht hauptsächlich darin, daß bei der Akkommodation nun nicht der ganze optische Apparat des Auges, sondern nur ein kleiner, leicht zu beeinflussender Abschnitt desselben, die Kristalllinse, in der Krümmung ihrer Flächen verändert werden muß. Wir haben schon oben erwähnt, daß die gerade Linie, welche man sich durch den Mittelpunkt der Hornhautoberfläche und durch die Mittelpunkte aller anderen optisch brechenden Flächen des Auges (z. B. der vorderen und hinteren Linsenfläche) gelegt denken kann, als **Augenachse** bezeichnet wird (s. Abbildung, S. 597, unten). Diese Augenachse (F_1 F_2) verläuft vom Hornhautmittelpunkt zu einem Punkt der Netzhaut, der zwischen dem gelben Fleck und der Eintrittsstelle des Sehnerven liegt. Für unsere hier vorliegenden Aufgaben ist es nicht nötig, in alle die feinen optischen Untersuchungen einzutreten, welche namentlich **Listing** und **Helmholtz**

ausgeführt haben, um aus der Bestimmung der höchst komplizierten Krümmungen der verschiedenen brechenden Flächen im Auge, aus deren Entfernung voneinander, aus den verschiedenen Brechungsvermögen der einzelnen Bestandteile des durchsichtigen Augenkernes im Verhältnis zur Luft und anderem den Gang der Lichtstrahlen mit mathematischer Exaktheit zu bestimmen; es war das um so schwerer, als für das in die Ferne blickende und das für das Sehen in die Nähe akkommodierte Auge, da sich ja die Linsenkrümmungen im letzteren wesentlich ändern, die Bestimmungen und Berechnungen ausgeführt werden mußten.



Schema des Ganges der Lichtstrahlen in der Hornhaut. a) Hornhaut, b) Linse, FH) Brennpunkt der Hornhaut, N) Netzhaut, b. h. wirklicher Vereinigungspunkt der Strahlen, nachdem sie durch Hornhaut und Linse getreten.

Aus diesen Bestimmungen muß hier nur erwähnt werden, daß der hintere Brennpunkt (F_2) des zentrierten Systems optisch brechender Flächen, wie es uns das normale Auge des Menschen darstellt, auf den Endpunkt der Augenachse (F_1F_2) in der Netzhaut trifft; die Netzhaut stellt also die Brennebene dieses optischen Systems dar (entsprechend der das Bild auffangenden matten Glastafel der Camera obscura), auf welcher scharfe Bilder aller jener hellen Gegenstände entworfen werden, welche, in großer Entfernung vom Auge gelegen, Lichtstrahlen von (annähernd) parallelem Verlauf in das Auge senden. Wie schon gesagt, bedarf aus diesem Grunde das nor-



Schema des Ganges der Lichtstrahlen im Auge. F_1F_2) Augenachse, G_1G_2) Gesichtslinie, h_1h_2) die Hauptpunkte, k_1k_2) die Knotenpunkte des optischen Systems des Auges.

mal brechende Auge keiner Anstrengung, um ferne Gegenstände deutlich zu sehen. Sehen wir von der Akkommodation ab und beschränken wir unsere Betrachtung nur auf das Sehen von Gegenständen in so großer Entfernung vom Auge, daß ihr scharf gezeichnetes Bild in der Netzhaut (Brennebene des Auges) entworfen wird, so gestaltet sich das Problem des Ganges der Lichtstrahlen im Auge außerordentlich einfach. Wir können die optische Wirkung des Auges durch eine optisch brechende Kugelfläche (ll) ersetzen mit einem Halbmesser von 5,1284 mm, vor dieser Kugelfläche befindet sich Luft, hinter ihr Glaskörpersubstanz, deren optisches Brechungsvermögen

sich zu dem der Luft wie 133/77 : 1 verhält, während das der Linse im ganzen 16/11 : 1 ist. Die Lage der Netzhaut bleibt in diesem reduzierten Auge Listings an der gleichen Stelle wie im lebenden normal brechenden Auge, d. h. sie bildet die Brennebene der optisch brechenden Fläche. Der Mittelpunkt der letzteren liegt, wie der einfach gedachte optische Mittelpunkt, Knotenpunkt, des ganzen Systems zentrierter brechender Flächen, in unserem Auge, in einem Punkte der Augenachse, welcher der hinteren Linsenfläche sehr angenähert ist (K). Nur der vordere Abschnitt des reduzierten Auges ist kürzer als der des lebenden, da die einfache Kugelfläche des reduzierten Auges, die alle die anderen optisch brechenden Flächen des lebenden Auges ersetzen muß, etwa in die Mitte der vorderen Augenkammer zu stehen kommt. Das reduzierte Auge ist daher im ganzen entsprechend kürzer als das lebende. Alle Strahlen, welche gegen den Mittelpunkt der brechenden Kugelfläche, den Knotenpunkt, gerichtet sind, gehen, ohne ihre Richtung zu ändern, durch diesen hindurch. Wir brauchen daher bei unserem reduzierten Auge, um die Lage des Bildchens eines gesehenen Gegenstandes im Auge zu bestimmen, von dem wir wissen, daß er scharfe Bilder auf der Netzhaut entwirft, nur von der Mitte dieses Gegenstandes aus eine gerade Linie durch den Mittelpunkt der brechenden Fläche, den Knotenpunkt des Auges, zu ziehen; wo diese gerade Linie die Netzhaut trifft, ist der Ort des Bildes. Wollen wir dabei auch die Form und die umgekehrte Lage des Netzhautbildes anschaulich machen, so haben wir nur außerdem von einigen Grenzpunkten des gesehenen Objekts durch den Knotenpunkt derartige gerade Linien zu ziehen und die Lage der Punkte, in denen sie die Netzhaut treffen, zu beobachten. Man nennt jede solche gerade Linie Richtungslinie des Sehens, der Knotenpunkt wird in diesem Zusammenhang „Kreuzungspunkt der Richtungslinien" genannt; die Augenachse ist also im Grunde auch nichts anderes als eine derartige Richtungslinie. Man bezeichnet diejenige Richtungslinie, welche die Mitte der Stelle des direkten Sehens in der Netzhaut, also den Mittelpunkt der Zentralgrube des gelben Fleckes, trifft, als Gesichtslinie ($G_1 G_2$); diese Gesichtslinie richten wir gerade gegen die zu fixierenden, möglichst scharf zu sehenden Gegenstände, sie entspricht also der eigentlichen Hauptrichtung der Augen bei dem direkten Sehen. Da, wie wir oben hörten, das Ende der Augenachse zwischen Sehnerveneintritt und gelbem Fleck auf die Netzhaut trifft, so sind also Augenachse und Gesichtslinie keineswegs identisch: vor dem Auge weicht die Gesichtslinie nach innen und meist etwas nach oben von der Augenachse ab, hinter dem Kreuzungspunkt die Richtungslinien also in umgekehrter Richtung, da die Zentralgrube des gelben Fleckes und dieser selbst nach außen, aber meist auch etwas nach unten von dem Endpunkt der Augenachse in der Netzhaut liegt.

Da bei dem reduzierten Auge, wie bei dem normal brechenden lebenden, die Netzhaut in der Brennebene des optischen Apparats liegt, so kommen, nach dem einleitend Gesagten nur solche Lichtstrahlen in derselben zur Vereinigung, d. h. es entsteht nur von solchen leuchtenden Punkten oder hellen Objekten ein scharf gezeichnetes Bild auf der Netzhaut, welche so weit von dem Auge entfernt liegen, daß die von ihnen aus in das Auge einfallenden Lichtstrahlen annähernd parallel untereinander sind, in Wahrheit also nur sehr wenig divergieren. Mit vollkommener Schärfe werden ja in der Brennebene nur untereinander parallel auf die brechende Fläche einfallende Strahlen vereinigt, speziell im Brennpunkt Strahlen, welche unter sich und mit der Achse parallel einfallen (die Brennebene ist die senkrecht auf die Achse durch den Brennpunkt gelegte Ebene). Alle Strahlen, von einem dem Auge näheren Punkte ausgehend, die also je nach der größeren oder kleineren Entfernung des Punktes mehr oder weniger stark divergieren, werden von dem nicht akkommodierten Auge so gebrochen, daß sie bei steigender Annäherung an das Auge immer weiter hinter der Netzhaut erst ihr Bild entwerfen; auf der Netzhaut selbst entsteht in diesem Falle kein scharfes, sondern nur ein mehr oder weniger verwaschenes Bildchen, anstatt eines Lichtpunktes entsteht als Bild jedes leuchtenden Punktes eine schwächer beleuchtete Kreisscheibe — ein

sogenannter Zerstreuungskreis. Indem sich diese Zerstreuungskreise der verschiedenen lichtaussendenden Punkte eines gesehenen Gegenstandes im Netzhautbildchen gegenseitig teilweise decken und miteinander verschwimmen, wird das Netzhautbildchen undeutlich und an den Grenzen entsprechend vergrößert, eine feine Lichtlinie erscheint z. B. als ein größerer und breiterer, aber lichtschwächerer Streifen mit abgerundeten Enden. Die Form dieser Zerstreuungskreise hängt von der Kreisform der Pupille ab. Von jedem leuchtenden Punkte gehen nämlich nach allen gegebenen Richtungen Lichtstrahlen aus; die Kreisscheibe der Pupille wird (von der Brechung in der Hornhaut abgesehen) sonach von einem auf dem Querschnitt kreisförmigen, konischen Lichtbüschel, dessen Spitze in dem leuchtenden Punkte, dessen Basis in der Pupille liegt, getroffen. Alle die Strahlen dieses Lichtbüschels werden von dem Auge gegeneinander zu gebrochen; liegt die Vereinigungsstelle zum Bildpunkt in der Netzhaut, so haben wir einen zweiten Lichtkegel, dessen Spitze in den Bildpunkt in der Netzhaut, dessen kreisrunde Basis in die Pupille fällt. Liegt aber der Bildpunkt, der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen, welche den Lichtkegel hinter der Pupille im Auge zusammensetzen, erst hinter der Netzhaut, so schneidet die Netzhaut gleichsam den Lichtkegel an einer Stelle, wo die Lichtstrahlen einander erst mehr oder weniger genähert sind; dieser Durchschnitt des Lichtkegels ist der Zerstreuungskreis. Da die Lichtstrahlen nach der Vereinigung zum Bildpunkt von diesem aus wieder in derselben Weise divergierend weitergehen, als wäre der Bildpunkt der leuchtende Objektpunkt selbst (s. Abbildung 1, S. 587), so bildet sich hinter dem Bildpunkt wieder ein Lichtkegel. Liegt daher (wie das bei kurzsichtigen Augen der Fall ist) der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen vor der Netzhaut, so wird diese ebenso nur von Zerstreuungskreisen getroffen. Es ist von selbst einleuchtend, daß bei gleichmäßig hellen einfarbigen Flächen, für die das Auge nicht akkommodiert ist, deren scharfes Bildchen also entweder hinter oder vor der Netzhaut entworfen wurde, von denen also das Auge nur ein Zerstreuungsbild, ein nicht aus Lichtpunkten, sondern aus Zerstreuungskreisen zusammengesetztes Bild, erhält, das Zerstreuungsbild in der Mitte, wo sich alle Zerstreuungskreise der Lichtpunkte vollkommen decken, von gleicher Lichtstärke wie das scharfe Bild ist, dagegen die Ränder verwaschen und lichtschwach erscheinen.

Vor allen künstlichen optischen Apparaten zeichnet sich das Auge durch die Größe seines Gesichtsfeldes aus. Wenn die Augen, mit ihren Achsen parallel in die Ferne gerichtet, sehr entfernte Gegenstände betrachten, so umspannt das Gesichtsfeld beider Augen einen horizontalen Bogen von mehr als 180°, der durch die Augenbewegungen auch ohne Kopfdrehung noch vergrößert werden kann. Für jedes einzelne Auge beschränken Teile des Gesichts, vor allen die Nase, das Gesichtsfeld nach innen, oben und unten, wie man leicht bei dem Schließen des einen Auges erkennt, da dann die entsprechenden Teile des Gesichtsfeldes verschwinden. Aus dem, was oben über das Netzhautbildchen und die Sehempfindlichkeit verschiedener Stellen der Netzhaut gesagt worden ist, ergibt sich, daß gleichzeitig doch immer nur die dem gelben Fleck entsprechende Partie dieses großen Gesichtsfeldes scharf gesehen werden kann. Das Gesamtbild, z. B. bei dem Blicke in eine weite Gegend, entspricht einem Gemälde, in welchem bloß die Mitte sorgfältig ausgeführt, der übrige Teil aber nur skizziert ist und zwar je weiter von der Mitte ab, um so weniger sorgfältig. Ein Blick gewährt uns also eine allgemeine Übersicht über eine weite Umgebung, immerhin scharf genug, daß neue irgendwo im Gesichtsfeld auftretende Erscheinungen sogleich unsere Beachtung erregen. Die Beweglichkeit unserer Augen ermöglicht es dann, nach und nach jeden einzelnen Teil des Gesichtsfeldes genau zu betrachten, indem wir die betreffenden Gegenstände ihr Bildchen auf dem gelben Flecke entwerfen lassen.

Wir haben oben schon das Bedürfnis und das Wesen der Akkommodation des Auges auseinandergesetzt, sie beruht im wesentlichen auf einer willkürlich erzeugten stärkeren Krümmung der vorderen Linsenfläche, wodurch das System optisch brechender zentrierter Flächen im Auge im

ganzen entsprechend stärker brechend wird, so daß es (bei dem normal brechenden Auge) auch von Gegenständen, die dem Auge sehr nahe sind (deren scharfes Bildchen ohne Akkommodation sonach weit hinter der Netzhaut entworfen würde, und die daher ohne Akkommodation auf der Netzhaut nur ein Zerstreuungsbild hervorrufen), ein scharfes Bild auf der Netzhaut zu entwerfen vermag. Daß die Akkommodation für das Nahesehen mit einer gewissen Anstrengung des Auges verbunden ist, bemerken wir durch Selbstbeobachtung leicht, wenn wir zuerst den Blick auf einer weiten Landschaft ruhen lassen und dann z. B. ein nahe vor das Auge gehaltenes Haar scharf fixieren. Wir bezeichnen den entferntesten Punkt, die größte Entfernung, in welcher das Auge noch scharf zu sehen vermag, als dessen Fernpunkt, den dem Auge nächsten Punkt aber, die geringste Entfernung vom Auge, für welche sich das Auge noch zu akkommodieren vermag, als den Nahepunkt des Auges.

Bei dem normal brechenden Auge, das Donders als das emmetropische, das richtige Maß haltende, bezeichnet hat, liegt, wie schon im vorstehenden oft angegeben, der Fernpunkt in sehr großer, physikalisch ausgedrückt in unendlicher Entfernung vom Auge; der Nahepunkt pflegt in jüngeren Jahren in 4—5 Zoll, also etwa in 15 cm Entfernung zu liegen. Bekanntlich unterscheidet man außerdem kurzsichtige und überweitsichtige Augen; die ersteren brechen gleichsam zu stark, die letzteren zu schwach, da die kurzsichtigen Augen auch ohne Akkommodation nur in stärkerem Grade divergierende, also von nahe gelegenen Gegenständen kommende Strahlen auf der Netzhaut zu einem scharfen Bildchen vereinigen können, während die überweitsichtigen Augen ohne Akkommodation nur Strahlen, die schon mehr oder weniger konvergierend in das Auge fallen, zu vereinigen vermögen. Da die „parallelen" Lichtstrahlen, welche das normale, d. h. emmetropische Auge ohne Akkommodation vereinigt, aus „unendlicher" Entfernung kommen, so liegt also der Fernpunkt derselben in unendlicher Entfernung; da konvergierende Strahlen nur von nahen Objekten ausgehen, so liegt für das kurzsichtige Auge der Fernpunkt dem Auge je nach dem Grade der Kurzsichtigkeit mehr oder weniger nahe, immer aber in meßbarer, „endlicher", Entfernung; es ist noch ein mäßiger Grad von Kurzsichtigkeit, wenn der Fernpunkt des Auges in 6 Zoll, also etwa 18 cm, vom Auge liegt. In entsprechender Weise rückt dann auch der Nahepunkt näher an das Auge heran, bei 6 Zoll Fernpunkt liegt der Nahepunkt in 3 Zoll, etwa 9 cm, Entfernung von dem Auge. In der Natur gibt es keine von einem endlichen oder unendlichen Objekt ausgehenden Lichtstrahlen, welche eine konvergierende Richtung hätten, diese wird ihnen erst durch die Brechung in optischen Konvexlinsen oder in dem Auge erteilt. Überweitsichtige Augen sind also, wie man zu sagen pflegt, da sie nur schon konvergierende, d. h. schon etwas gebrochene Strahlen ohne Akkommodation auf der Netzhaut zu vereinigen vermögen, für Lichtstrahlen, welche noch „jenseit Unendlich" herkommen, eingerichtet, ihr Fernpunkt liegt „jenseit Unendlich". Der Nahepunkt rückt dem entsprechend hinaus, etwa auf 12 Zoll (36 cm). Das kurzsichtige Auge ist im stande, entsprechend nahe Gegenstände ohne Akkommodationsanstrengung scharf zu sehen, das überweitsichtige Auge muß aber, auch wenn es Gegenstände in unendlicher Entfernung scharf sehen will, und noch weit mehr bei dem scharfen Besichtigen naher Gegenstände, Akkommodationsanstrengungen machen, es ist bei dem Sehen sonach beständig angestrengt. Daher rührt es, daß sich bei überweitsichtigen Augen, namentlich bei feineren Beschäftigungen in der Nähe, wie Lesen, Nähen und anderem, rasch lebhafte Ermüdungserscheinungen einstellen, welche die älteren Augenärzte, die ihre physikalische Ursache nicht kannten, als Gesichtsschwäche, Asthenopie, bezeichneten, ein namentlich bei früher Normalsichtigen im Alter, aber auch in der Jugend, angeboren, vorkommendes „Leiden", dem sie vollkommen hilflos gegenüberstanden, bis namentlich durch Donders der wahre Sachverhalt erkannt wurde. Jetzt kann man diese „Gesichtsschwäche" durch das Tragen von (Konvex-) Brillen ebenso leicht korrigieren wie die Kurzsichtigkeit (durch Konkavbrillen).

Das Prinzip der Auswahl der Brillen ist ganz einfach. Da die kurzsichtigen Augen, wie gesagt, gleichsam zu stark das Licht brechen, ihre lichtbrechenden Flächen also gleichsam zu stark konvex gekrümmt sind, so braucht man einem solchen Auge nur eine in der entgegengesetzten Richtung als das Auge lichtbrechende Glaslinse, also eine doppeltkonkave (Brillenglas für Kurzsichtige) vorzusetzen. Man wählt durch Versuch diejenige konkave Krümmung des Brillenglases aus, durch welche bei dem Hindurchsehen mit dem Auge dessen Fernpunkt in „unendliche" Entfernung, wie bei dem emmetropischen Auge von Natur aus, gerückt wird, d. h. eine Konkavbrille, die das scharfe Erkennen sehr entfernter Gegenstände noch gestattet. Bei den Überweitsichtigen, deren Auge gleichsam zu schwach bricht, setzt man dagegen eine im gleichen Sinne wie das Auge brechende Konvexlinse vor, und zwar sucht man jene aus, durch welche ohne alle Akkommodation das scharfe Sehen in große Entfernungen ermöglicht wird.

Man war früher der Meinung, daß wirklich die Kurzsichtigkeit und Überweitsichtigkeit, erstere von einer zu starken, letztere von einer zu schwachen Krümmung der optischen Flächen des Auges, namentlich der Hornhaut, herrühre. Helmholtz und Donders haben aber nachgewiesen, daß solche (konstante) Unterschiede nicht existieren; die Ursache, warum bei dem kurzsichtigen Auge die Vereinigungspunkte paralleler Strahlen (hinter Brennpunkt und Brennebene) vor die Netzhaut fallen, liegt darin, daß das kurzsichtige Auge im ganzen von vorn nach hinten zu lang ist; umgekehrt ist das überweitsichtige Auge im ganzen zu kurz, so daß sein hinterer Brennpunkt mit der Brennebene hinter die Netzhaut zu liegen kommt. Praktisch bleibt freilich bestehen, daß für die gegebene Länge des Auges das kurzsichtige zu stark, das überweitsichtige zu schwach brechend wirkt.

Man bezeichnet die Entfernung des individuellen Fernpunktes des Auges von seinem Nahepunkt als Akkommodationsbreite des Auges. Früher konnte man der Meinung sein, daß ein normal brechendes Auge, welches von unendlicher Entfernung bis auf 6 Zoll gegen das Auge zu akkommodiren vermag, eine größere Akkommodationsbreite besitze als ein kurzsichtiges, dessen Fernpunkt z. B. in 6 und dessen Nahepunkt in 3 Zoll Entfernung vom Auge liegt. Es stellt sich aber heraus, daß die notwendige Veränderung der Linsenkrümmung in beiden Fällen ganz die gleiche ist; korrigieren wir das kurzsichtige Auge durch eine passende Konkavbrille, welche seinen Fernpunkt in unendliche Entfernung rückt, so rückt sein Nahepunkt auch auf 6 Zoll Entfernung hinaus. Auch bei überweitsichtigen Augen ist die Akkommodationsfähigkeit im jugendlichen Alter meist nicht geschwächt trotz der ohne Brille eintretenden Akkommodationsermüdung.

Mit dem zunehmenden Alter nimmt aber die Akkommodationsfähigkeit des Auges mehr und mehr ab und zwar der Hauptsache nach deshalb, weil die Außenschichten der Linsensubstanz ihre Elastizität nach und nach einbüßen. Dadurch wird die Akkommodationsbreite immer kleiner, der (ja stets nur durch Akkommodation erzwungene) Nahepunkt rückt also dem Fernpunkt bei Nachlaß der Akkommodationsfähigkeit immer näher. Das ist z. B. der Grund, warum alte, früher nicht kurzsichtige Leute beim Lesen die Zeitung so weit von den Augen halten. Endlich fällt der Nahepunkt mit dem Fernpunkt zusammen, die Akkommodationsfähigkeit ist ganz verschwunden, die Augen sind weitsichtig geworden. Bei früher stärker kurzsichtigen Augen macht das wenig Störung, da ihr Fernpunkt ja von vornherein dem Auge so nahe liegt, daß von ihm aus ein deutliches Sehen auch kleiner Gegenstände möglich ist. Bei emmetropischen Augen rückt aber der Nahepunkt so weit hinaus, daß nur durch Vorsetzen einer passend gewählten Konvexbrille das scharfe Nahesehen ermöglicht werden kann. Bei den Überweitsichtigen rückt auch der Nahepunkt im Alter nach „jenseit Unendlich" hinaus, sie brauchen dann also nicht nur zum Sehen in die Ferne eine Konvexbrille, sondern eine andere noch stärker korrigierende für die Nähe. Sie sind etwa in derselben Lage wie Leute, denen wegen Starerblindung die getrübte Kristalllinse aus dem Auge entfernt wurde. Die Star-Operierten müssen die fehlende Linse des Auges durch

eine entsprechend gekrümmte Konvexlinse aus Glas, die sie als Starbrille tragen, ersetzen und, anstatt zu akkommodieren, verschieden stark (für die Ferne schwächer, für die Nähe stärker) gekrümmte Glaslinsen anwenden.

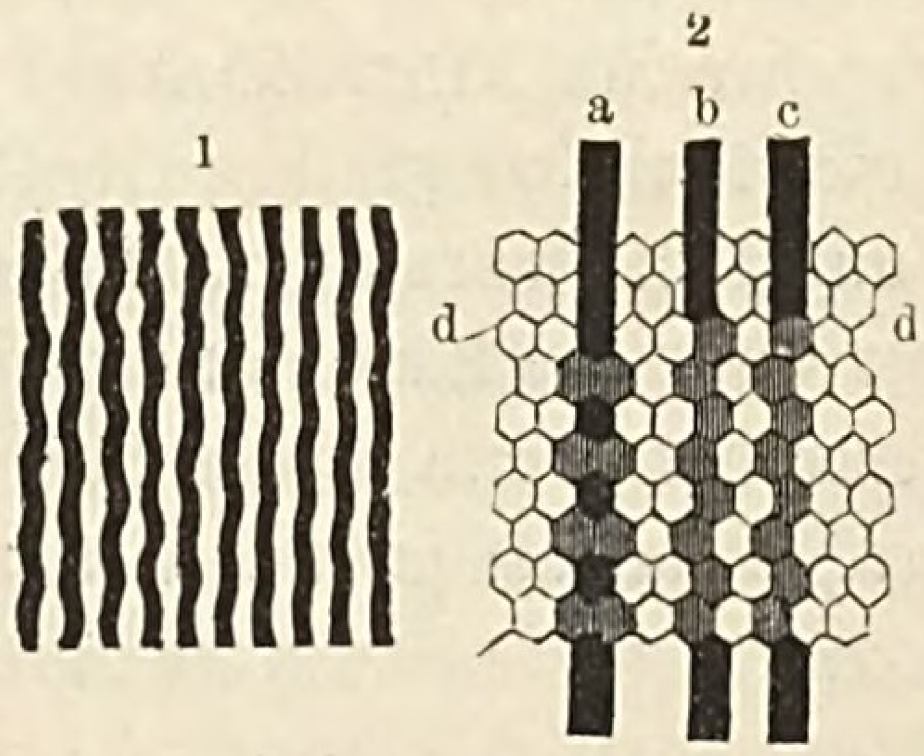
Ein eigentümliches Verhalten des Auges zeigt sich manchmal darin, daß die Hornhaut in einer Richtung stärker als in der anderen gekrümmt ist. Derartige Augen sehen anstatt eines Lichtpunktes eine Lichtlinie, die Gegenstände entwerfen daher ungenaue Bilder. Man hat diesen als regulären Astigmatismus, Brennpunktlosigkeit, bezeichneten Zustand zu korrigieren gelernt durch Cylinderbrillen, welche nur nach einer Richtung (wie ein Abschnitt eines Cylinders) gekrümmt sind und daher nur die eine falsche Krümmungsrichtung der Hornhaut korrigieren. Der irreguläre Astigmatismus äußert sich durch Auftreten von Doppelbildern in dem Gesichtsfeld eines Auges (meist kommen nämlich die Doppelbilder bei dem Sehen mit beiden Augen vor). Der unregelmäßige Astigmatismus beruht darauf, daß durch Unregelmäßigkeiten der brechenden Augenflächen und zwar namentlich der Linse die in den verschiedenen Meridianebenen des Auges einfallenden Strahlen nicht genau in einem Brennpunkt vereinigt werden. Daran beteiligt sich unter Umständen auch die Hornhaut, wenn kegelförmige Erhebungen, Geschwüre &c., oder zufällige Unreinigkeiten, Thränenflüssigkeit, Fetttröpfchen aus den Meibomschen Fettdrüsen der Augenlider, eine unregelmäßige Brechung an ihr veranlassen. Die Linse zeigt in jedem Auge derartige geringfügige Abweichungen. Daher rührt es, daß die Bilder (kleinen Zerstreuungskreise) ferner leuchtender Punkte, z. B. der Sterne, als Sternfiguren mit 4—8 unregelmäßigen Strahlen erscheinen, welche in beiden Augen und bei verschiedenen Personen verschieden zu sein pflegen; eine kleine, runde Öffnung in einem dunkeln Schirm erscheint bei schwacher Beleuchtung jenseit des Fernpunktes des Auges mehrfach, ebenso eine feine Lichtlinie, d. h. ein Spalt in einem dunkeln Schirm. Bei ungenügender Akkommodation erscheint aus demselben Grunde die feine Neumondsichel doppelt oder mehrfach.

Ein gutes optisches Instrument soll vollkommen achromatisch sein, d. h. um die dadurch gesehenen Gegenstände keine farbigen Ränder, sondern die Gegenstände in ihrer natürlichen Farbe zeigen. Man hat solche achromatische Instrumente zu bauen gelernt nach dem Bauschema des Auges, indem man die brechenden Gläser aus Glas von verschieden stark lichtbrechender Substanz, ähnlich wie das im Auge der Fall ist, zusammensetzte. Immerhin entdeckte Fraunhofer im menschlichen Auge eine, freilich im praktischen Gebrauch desselben vollkommmen verschwindende, geringfügige Farbenzerstreuung. Jenseit des Fernpunktes erscheinen bei weißer Beleuchtung weiße Flächen mit einem schwach blauen Rande; liegen die Flächen aber näher als der Akkommodationspunkt, so zeigen sie einen schwach rotgelben Rand. Die subjektive Beobachtung dieser Randfärbungen erfordert jedoch sehr viel Aufmerksamkeit.

Wir haben hier unter den subjektiven Einflüssen auf das Sehen auch noch der merkwürdigen entoptischen Wahrnehmungen zu erwähnen, welche dadurch entstehen, daß das in das Auge einfallende Licht eine Reihe im Auge selbst befindlicher Gegenstände sichtbar macht. Es werfen kleine dunklere Partikelchen auf die Hornhaut, aber namentlich im Glaskörper, ihre Schatten auf die Netzhaut, die man unter gewissen Umständen als „fliegende Mücken" bei greller Beleuchtung wahrnehmen kann; namentlich werden Kurzsichtige durch diese Wahrnehmungen oft gestört. Am merkwürdigsten aber ist es, daß man auch Teile der Netzhaut selbst wahrzunehmen vermag. Man versteht das, wenn man sich daran erinnert, daß die das Licht perzipierende Stäbchen- und Zapfenschicht (gegen die Aderhaut zu) hinter den übrigen Netzhautschichten liegt; die lichtperzipierende Schicht kann daher von dem Schatten dunklerer Netzhautteile ebenso wie von dem Schatten von weiter vorn im Auge gelegenen getroffen werden. Das ist der Fall bei dem Schatten der

Netzhautblutgefäße (s. oben), die man als helle oder dunkle Zeichnung, dem auf S. 583 gegebenen Bilde entsprechend, erblickt, z. B. wenn man sofort nach dem Erwachen aus dem Schlafe eine hell beleuchtete Fläche anblickt. Dann ist die geruhte Netzhaut so empfindlich, daß sie den durch ihre Blutgefäße bewirkten geringen Unterschied in der Beleuchtungsstärke ihrer Fläche erkennt. Bei dem Blicke in den grell blendenden weißlichen Himmel erkennt man bei einiger Aufmerksamkeit sogar das Strömen der Blutkörperchen, kleiner tanzender Lichtpünktchen, in den Augenhaargefäßen.

Das sind Beobachtungen, welche, wie jene über den blinden Fleck, mit Bestimmtheit beweisen, daß die eigentlich lichtempfindliche Schicht der Netzhaut lediglich die Stäbchen- und Zapfenschicht ist. Auch aus dem Grade der Genauigkeit, den das Sehen erlangen kann, rechtfertigt sich die Annahme, daß die Stäbchen und Zapfen die letzten empfindlichen Elemente der Netzhaut bilden. Das beste von E. H. Weber untersuchte Auge konnte zwei weiße Striche, deren Mittellinie 0,00526 mm (= 73 Sekunden Gesichtswinkel) voneinander abstand, noch gesondert unterscheiden; nach Volkmann und Hirschmann bekommt man noch kleinere Werte bis zu 0,00356 mm (=50 Sekunden Gesichtswinkel). Nach den Messungen von Heinrich Müller beträgt aber die Dicke der Zapfen im gelben Flecke 0,0015—0,0020 mm, nach Max Schulze 0,0025, nach Welcker 0,0031—0,0036, ihre stabförmigen Enden fand M. Schulze 0,00066 mm. Ihre Feinheit reicht sonach für die Schärfe des Unterscheidungsvermögens des schärfsten Auges aus.



Erscheinung feinster gerader Linien als gekrümmter.

In der Regel bestimmt man die Sehschärfe des Auges vermittelst Buchstaben von verschiedener Größe, welche man aus größerer Entfernung und unter passender Unterstützung des Auges durch Brillengläser betrachten läßt. Als Maß der Sehschärfe dient ein Bruch, dessen Zähler der Abstand ist, in welchem jene Buchstaben noch gelesen werden konnten, dessen Nenner dagegen die Entfernung ist, aus der sie unter einem Winkel von 5 Winkelminuten erscheinen. Im Durchschnitt ist diese Genauigkeit im 10. Lebensjahre gleich 1,1, im 40. gleich 1,0, im 80. gleich 0,5. Die Sehschärfe nimmt sonach mit dem zunehmenden Alter ab. Nach den Beobachtungen Seggels u. a. ist die Sehschärfe bei unzivilisierten Völkern (sogenannten Wilden, z. B. den Feuerländern) eine viel bedeutendere als bei der Mehrzahl der Personen bei Kulturvölkern; bei den russischen Soldaten ist die Sehschärfe im Durchschnitt bedeutender als bei den deutschen. Kurzsichtigkeit ist bei Naturvölkern weit seltener als bei den Kulturvölkern, bei denen sie, namentlich bei den Ständen, deren Lebensberuf viel Lesen oder sonst feine Arbeit mit gebückter Kopfhaltung erfordert, häufig ist. Sie ist, oder ihre Anlage, leider auch erblich und angeboren.

Die Feinheit des Sehvermögens der Netzhaut ist immerhin so groß, daß von jedem lichtempfindenden Netzhautelement (Stäbchen oder Zapfen) eine gesondert aufzufassende Lichtempfindung ausgeht, eine Feinheit, welche die Hautempfindung, wie wir oben hörten, niemals erreicht. An der Grenze des Unterscheidungsvermögens erscheinen dem Auge gerade feinste Linien a b c wellen- oder zackenförmig gekrümmt, wie in Fig. 1 der obenstehenden Abbildung; es erklärt sich das, wie Fig. 2 derselben Abbildung darstellt, aus dem Mosaik der Retina, und es kommt hier die Gestalt und Lagerung der erregten Netzhautelementarflächen d direkt zur Beobachtung.

Die Netzhaut zeigt deutliche Ermüdungserscheinungen, die dann in subjektiven Gesichtsempfindungen sich geltend macht. Jeder Gesichtseindruck hinterläßt, entsprechend dem „Nachgeschmack", eine kurze Zeit ein subjektives Nachbild. Es wird das durch die bekannten, auch als Kinderspielzeuge benutzten Farbenkreisel gezeigt; auch eine im Kreise geschwungene glühende Kohle erscheint bekanntlich im Dunkeln als Feuerkreis. Die Reizung der Netzhaut dauert also,

wenn die Einwirkung des Reizes aufgehört hat, noch einige Zeit fort, und es macht sich auf das deutlichste eine veränderte Empfindlichkeit der gereizten Netzhautstelle gegen die Lichteinwirkung geltend: die Empfindlichkeit für Licht ist, wenn ein Reiz eingewirkt hatte, vermindert. Unser Auge befindet sich auch nach dem Aufhören der äußeren reizenden Einwirkung noch in dem Zustande der Reizung. Wir erkennen das an den eben erwähnten Nachbildern. Man nimmt diese subjektiven Nachbilder am leichtesten wahr, wenn man nach kurz dauernder (etwa 1/3 Sekunde langer) Betrachtung heller Gegenstände das Auge schließt und mit der Hand beschattet oder auf eine andere Weise das Gesichtsfeld plötzlich verdunkelt. Es erscheint dann der helle Gegenstand (etwa die Lichter eines Kronleuchters) im positiven Nachbild. Außer dem positiven Nachbild unterscheidet man auch ein negatives Nachbild. Bei dem ersteren zeigen sich die hellen Stellen des Bildes hell wie im Objekt, bei dem letzteren erscheinen die hellen Stellen, wie im Negativ des Photographen, dunkel, die dunkeln hell. Blickt man während des Bestehens des positiven Nachbildes, in welchem, wie gesagt, der normale Sehreiz fortdauert, auf eine gleichartig helle Fläche, so verwandelt sich das positive Nachbild sofort in das negative, d. h. es kommt uns die geringere Lichtempfindlichkeit der das Nachbild (die Fortdauer des Reizzustandes) zeigenden Netzhautstellen zum Bewußtsein. Auch von farbigen Gegenständen entstehen entweder positive oder negative Nachbilder. Das positive Nachbild zeigt sich bei kurzer Einwirkung und erscheint gleich gefärbt wie das gesehene Objekt, das negative Nachbild besitzt bei vollständiger Entwickelung die komplementären Farben des gesehenen Objekts. Es läßt sich das als Ermüdungserscheinung der Grundfarbenempfindungsorgane deuten. Starke und grelle Erregung durch weißes Licht (etwa durch einen raschen Blick zur Sonne) erzeugt farbige Nachbilder, die in ihrem Farbenwechsel, der als farbiges Abklingen der Nachbilder bezeichnet wird, jedermann bekannt sind.

Raumwahrnehmungen mittels des Auges.

Wir benutzen die Empfindungen, welche in uns durch unser Auge infolge des Lichtreizes hervorgerufen werden, indem wir sie in Verbindung mit anderen Sinneseindrücken, namentlich mit einer Reihe von Muskelgefühlen, bringen, um uns eine Vorstellung über das Vorhandensein, die Gestalt und Beschaffenheit sowie den Ort äußerer Gegenstände zu machen. Auge und Tastsinn werden am häufigsten zu diesem Zweck in ihren Ergebnissen kombiniert, aber auch die Bewegungen unseres Körpers im ganzen, namentlich aber die des Kopfes und für größere und kleinere Objekte die Augenbewegungen, sind für die Bildung unserer Raumvorstellungen mit Hilfe des Sehorgans von hervorragender Bedeutung. Bei dem normalen Gebrauch unseres Sehvermögens dienen uns stets unsere beiden Augen gleichzeitig, wir betrachten die Objekte und machen, um ein Urteil über ihre Stellung im Raume, ihre Größe und Gestalt zu gewinnen, auch gewisse Bewegungen der Augen, des Kopfes oder ganzen Körpers.

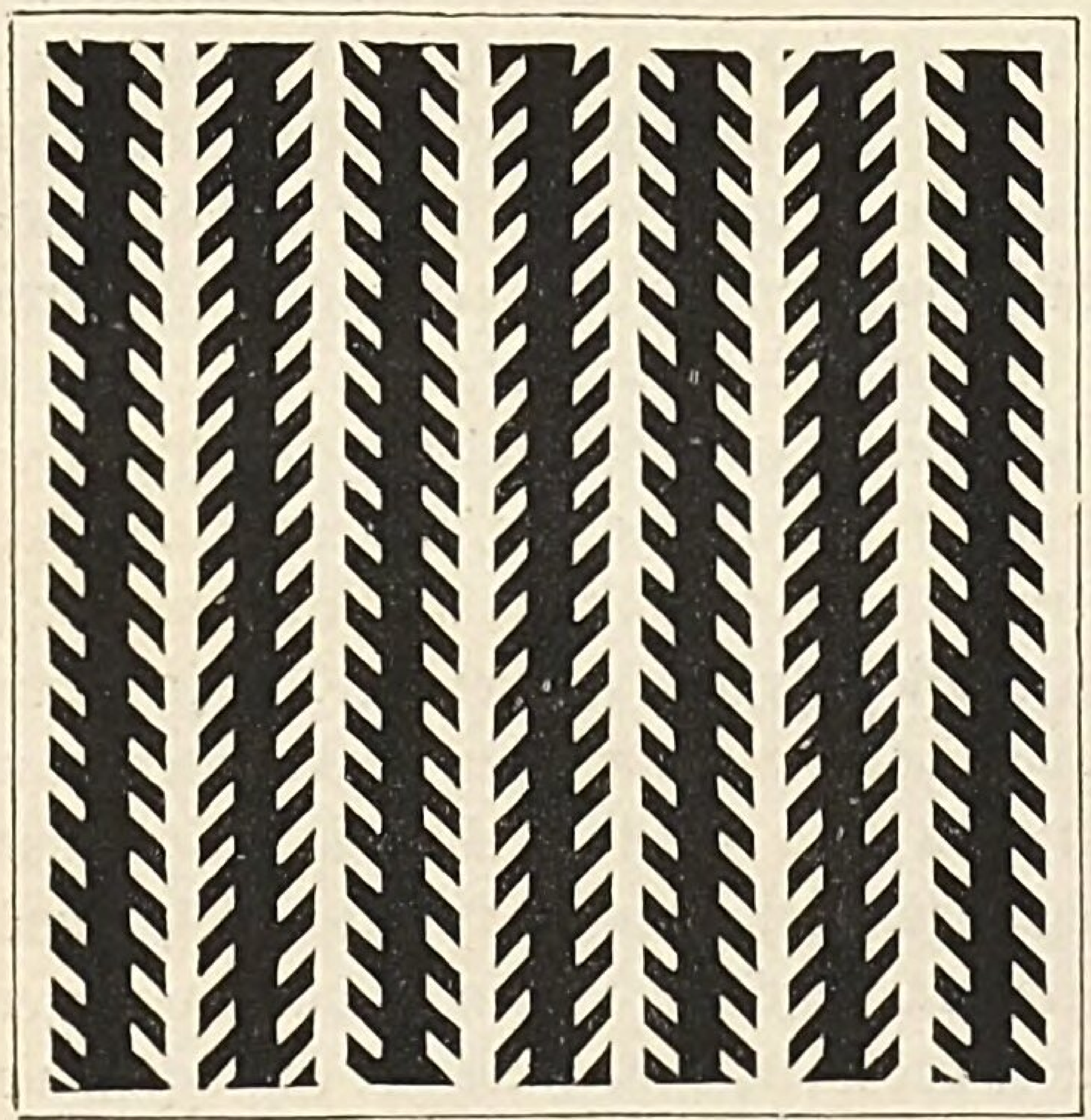
Die Stellung im Raume, welche ein leuchtender Punkt einnimmt, beurteilen wir nach seiner Stellung zu unserem Auge; wir richten unser Auge auf den Lichtpunkt und wissen nun, daß er in der Richtung unserer in den Raum hinaus verlängerten Gesichtslinie liegen muß. Auf welchem Punkte dieser Linie, ob ferner oder näher an unserem Auge, bleibt dabei aber zunächst ganz unbestimmt. Betrachten wir sehr ferne Gegenstände, bei denen uns frühere Erfahrungen zur Deutung unserer Gesichtswahrnehmungen nicht zur Verfügung stehen, so erscheinen sie uns, obwohl sie ja in Wahrheit nach den drei Dimensionen des Raumes verteilt sind, nur nach zwei Dimensionen, mit anderen Worten, in einer Fläche ausgebreitet. Diese imaginäre flächenhafte Anordnung der gesehenen Gegenstände ist es, welche man als Gesichtsfeld

bezeichnet. Aber auch dann, wenn wir, unterstützt durch die Erfahrung, uns eine vollständig richtige Vorstellung von der wahren Anordnung der gesehenen Gegenstände im Raume machen, so bemerken wir trotzdem, wenn wir mit unserem Blicke über die Gesichtsobjekte gleichsam hinstreifen, daß sie doch nur in einer Fläche angeordnet erscheinen. Daher lassen wir uns bei Dekorationsmalerei oder bei den modernen Schlachtenpanoramen, wobei der plastische Vordergrund die Täuschung noch begünstigt, so leicht durch Gemälde in der Weise täuschen, daß wir die darauf in einer Fläche dargestellten Gegenstände für reale Objekte im Raume nehmen.

Wir können in der angegebenen Weise leicht und sicher die Richtung der einzelnen leuchtenden Punkte zu unserem Auge feststellen, ebenso leicht und sicher können wir daher auch die gegenseitige Anordnung gleichzeitig gesehener Punkte im Gesichtsfeld bestimmen, was noch dadurch erleichtert wird, daß wir den Blick über das Gesichtsfeld hinschweifen lassen. Der gegenseitigen Lage der Gegenstände im Gesichtsfeld entspricht eine korrespondierende relative Lage der durch die Lichtstrahlen der gesehenen Objekte gereizten Netzhautpartien. Die Möglichkeit der Orientierung im Gesichtsfeld setzt also als Bedingung die Orientierung auf der eigenen Netzhaut voraus. Das Gesichtsfeld ist gleichsam die nach außen entworfene, projizierte Netzhaut. Jeder Punkt des Gesichtsfeldes besitzt also seinen entsprechenden Punkt auf der Netzhaut; jeder Punkt des Gesichtsfeldes ist bezeichnet durch ein besonderes „Lokalzeichen", eine besondere Empfindung, die nur durch die Erregung einer einzigen bestimmten Stelle in der Netzhaut (eines Stäbchens oder eines Zapfens) hervorgerufen wird. Diese Orientierung auf der eigenen Netzhaut und damit im Gesichtsfeld ist sicher etwas Erlerntes. Von vornherein wissen wir ebensowenig, welchen Stellen der Netzhaut die Lokalzeichen entsprechen, als wo die Fasern des Sehnerven liegen, welche die Erregung leiten, oder die Ganglienzellen im Gehirn, zu welchen die Erregung geleitet wird. Wir haben aber aus täglicher Erfahrung gelernt, wie wir z. B. die Hand bewegen müssen, um den oder jenen Körper, den oder jenen Teil desselben zu berühren, von dem die Lichtstrahlen in unser Auge fallen. Derartige Körperbewegungen sind es, welche unsere Lokalkenntnisse im Gesichtsfeld uns anerziehen, durch solche Bewegungen lernen wir direkt die Lokalzeichen der Empfindung in unserer Netzhaut verbinden mit dem Orte im Sehfeld, in welchen das Objekt gehört, welches eine bestimmte Stelle unserer Netzhaut bei bestimmter Augen-, Kopf- und Körperstellung erregt. Das Netzhautbildchen selbst kommt sonach bei der Lokalisation im Gesichtsfeld nicht eigentlich in Betracht, es ist nur das Mittel, wodurch die Lichtstrahlen je eines Punktes des Gesichtsfeldes auf je ein lichtempfindliches Netzhautelement konzentriert werden, wir sehen das Netzhautbildchen also selbst nicht. Darin liegt die Erklärung dafür, warum uns die Gegenstände, obwohl sie sich verkehrt auf der Netzhaut abbilden, doch aufrecht erscheinen. Die Stellung des Netzhautbildchens könnte irgendwie beschaffen sein; die wahre Stellung der Gegenstände im Raume wird primär nicht aus dem Netzhautbildchen, sondern nur aus den Erfahrungen beurteilt, welche wir vermittelst gewisser Körperbewegungen, unterstützt durch den Tastsinn, uns von dem Orte im Raume gebildet haben, von dem aus die bestimmten Lokalzeichen der Netzhauterregung normal hervorgerufen werden. Diese Wahrnehmungen sind sonach keine reinen Empfindungen, sondern Akte unseres Urteils.

Dasselbe gilt für die Größenwahrnehmung durch das Auge und die Wahrnehmung der Bewegung der Gegenstände. Wir schätzen die Größe der Objekte nach der Größe der Augen- oder Körperbewegungen, welche notwendig sind, um die verschiedenen Punkte ihres Umfanges mit den Augen zu fixieren, und nach dem verschiedenen Umfang der erregten Netzhautpartie, welche wir in das Gesichtsfeld projizieren. Alles das gelingt uns aber mit einer gewissen Schärfe nur unter Zuhilfenahme früherer Erfahrungen über die etwaige Größe der gesehenen Objekte und unter Berücksichtigung der weiteren Erfahrung, daß mit der steigenden Entfernung der Gegenstände von unserem Auge die Gegenstände entsprechend kleiner und kleiner erscheinen oder mit

anderen Worten immer kleinere Netzhautstellen erregen. Das ist der Grund, warum, wenn uns die Entfernung unbekannter Gegenstände auch unbekannt ist und andere Anhaltspunkte der Größenvergleichung fehlen, die Größenschätzung eine ganz schwankende und unsichere wird. Auf Bewegung der Objekte schließen wir daraus, daß, während unser Auge selbst sich nicht bewegt, der Gegenstand seine Stellung im Gesichtsfeld wechselt, d. h. nach und nach immer andere Netzhautstellen erregt; oder wir folgen dem sich bewegenden Gegenstand durch Augen-, Kopf- oder Körperbewegungen und ziehen daraus unseren Schluß auf die Bewegung des gesehenen Objekts. Auch hier können zahlreiche Täuschungen unterlaufen, wie z. B. die scheinbare Bewegung feststehender Gegenstände beweist, an denen wir im Wagen rasch vorüberfahren; wir haben bei dem Fahren kein Gefühl davon, daß sich in Wirklichkeit unser Auge bewegt, und daß darum die gesehenen Gegenstände ihre Reizstelle auf der Netzhaut, ihre Stellung im Gesichtsfeld ändern. Da auch die Bestimmung der Richtung gesehener Objekte nicht auf direkter Empfindung, sondern auf einem Schlusse, auf einem Urteil beruht, so kommen auch hier die mannigfachsten Täuschungen vor; sowie das Bewußtsein nach einer bestimmten Richtung gefälscht wird, treten Richtungstäuschungen bei dem Sehen ein, ganz den Richtungstäuschungen entsprechend, die ein geschickter Bauchredner für das Gehör hervorzubringen vermag. So beurteilen wir z. B. die Richtung von Linien falsch, wenn andere dominierende Linien unser Urteil stören; niemand wird ohne Messung die nebenstehend abgebildeten senkrechten Linien für einander parallel halten, wie sie es doch in der That sind.



Richtungstäuschungen.

Es ist hier nicht der Ort, von dem Problem der Wahrnehmung der Tiefendimension ausführlicher zu handeln. Nur so viel soll erwähnt werden, daß uns hierin, abgesehen von anderen Erfahrungen, namentlich das Sehen mit zwei Augen unterstützt, welches bedingt, daß wir, wenn auch nur in ganz geringem Grade, die Objekte von zwei verschiedenen Seiten her betrachten, indem für jedes Auge die Ansicht eine etwas andere ist. Das ist auch der Grund, warum wir uns von den ebenfalls von zwei nur sehr wenig verschiedenen Stellen aufgenommenen stereoskopischen Bildern so leicht die Täuschung wahrer Körperlichkeit der stereoskopisch gesehenen Objekte abgewinnen lassen. Beleuchtung, Schlagschatten, Luftperspektive, d. h. die Trübung und Farbenveränderung ferner Objekte durch die dazwischen befindlichen Luftschichten, wirken bei der Bildung unseres Urteils über die Tiefendimension eines gesehenen Objekts mit.

Man hat sich oft darüber mit Verwunderung ausgesprochen, warum wir, obwohl in jedem unserer beiden Augen je ein Netzhautbildchen entworfen wird, die Gegenstände nicht doppelt sehen. Auch hier gilt das soeben für das Aufrechtsehen des umgekehrten Netzhautbildchens Gesagte. Weder von dem einen noch dem anderen der beiden Netzhautbildchen wissen wir primär etwas, und wir lernen von vornherein durch Erfahrung, die gleichzeitigen und gleichartigen Netzhauteindrücke, auf korrespondierenden Netzhautpartien hervorgerufen, auf nur ein Objekt im Raume zu beziehen; auch hier haben wir nicht eine oder zwei einfache Empfindungen als das Bestimmende, sondern Urteile und Schlüsse, Erfahrungen. Aber es ist leicht nachzuweisen, daß wir im allgemeinen nur die direkt fixierten Gegenstände einfach sehen; gleichzeitig näher am Auge

oder weiter vom Auge als der fixierte Gegenstand gelegene Objekte erscheinen in der That unter gewissen Umständen doppelt. Aber auch von dieser Doppelempfindung, die, wenn wir einmal auf sie achten, doch sehr deutlich ist, nimmt unser Urteil keine Notiz, wir „wissen" eben wieder aus unserer Lebenserfahrung (ein Wissen, über welches wir uns keine Rechenschaft zu geben pflegen), daß in Wahrheit einfache Objekt im Raume, die wir gerade nicht fixieren, eine Doppelempfindung hervorrufen müssen. Halten wir den Zeigefinger unserer einen Hand senkrecht aufgerichtet vor dem Auge in einer Entfernung, in der wir ihn genau fixieren können, und dahinter in einiger Entfernung, aber auch in der Gesichtslinie den Zeigefinger der anderen Hand ebenso, so erscheint, wenn wir den näheren fixieren, der fernere, wenn wir den ferneren fixieren, der nähere Finger doppelt, während der fixierte Finger stets nur einfach erscheint. Physiologisch gesprochen drückt man dieses Verhalten so aus, daß es in den beiden Netzhäuten „identische Punkte" gibt, deren gleichzeitige Erregung von dem gleichen Objekt aus nur eine einzige Gesichtsempfindung hervorruft; werden aber die Netzhautbildchen eines Gegenstands nicht auf identischen Netzhautpunkten entworfen, so erscheint der Gegenstand doppelt. Diese „identischen Netzhautpunkte" scheinen aber keine anatomisch-physiologische Einrichtung, sondern, wie schon angedeutet, vielleicht lediglich oder wenigstens der Hauptsache nach ein Resultat der „Erziehung". Die Gesamtheit der Punkte des äußeren Raumes, welche auf identischen Punkten der Netzhaut abgebildet und daher einfach gesehen werden, bezeichnet man als **Horopter**.

Wir beenden, im Anschluß an **Helmholtz**, diese Betrachtung mit einem nochmaligen Hinweis darauf, daß die Gesichtswahrnehmungen nicht etwa einfache Empfindungen, sondern zum größten Teil Resultate unseres Urteils, unserer Erfahrung sind. Es ist unzweifelhaft, und bei Kindern ist es durch Beobachtung leicht und sicher nachzuweisen, daß wir die Gesetze der Beleuchtung, des Schlagschattens, der Lufttrübung, der perspektivischen Darstellung und Deckung verschiedener Körper, die Größe der Menschen und Tiere 2c., die wir bei Beurteilung der Körperformen und Entfernungen benutzen, erst durch die Erfahrung kennen gelernt haben und unsere Kenntnis durch Übung verfeinern. Es liegt also jeder der auf diesen Erfahrungen begründeten Anschauungen über die räumlichen und körperlichen Verhältnisse der gesehenen Objekte ein Akt des Urteils zu Grunde, aber es fehlt uns in den meisten Fällen davon jedes Bewußtsein. Die Verknüpfungen der Vorstellungen geschehen nicht bewußt und nicht willkürlich, sondern, ganz analog wie bei den unmittelbaren Wahrnehmungen, wie durch eine äußere zwingende Macht, wie durch eine blinde Naturgewalt hervorgerufen; sie geben uns Anschauungen von der räumlichen Anordnung der Körper mit vollkommen sinnlicher Lebhaftigkeit. Es ist das von der größten Wichtigkeit für die allgemeine Beurteilung unserer scheinbar objektiven Sinneseindrücke. Überall spielt der Geist in das materielle Geschehen mit hinein.

Die Menschenstimme.

Wenn man behauptet hat, daß den Menschen von den Tieren der Besitz der **Sprache** unterscheide, so meinte man damit ebensowenig, daß den Tieren jede Art der Verständigung untereinander, etwa nach der Methode der Zeichensprache oder auch durch Laute der Stimme, abgehe, als daß den Tieren die Organe mangeln, mit deren Hilfe der Mensch die Sprachlaute bildet. Die allbekannte Zeichen- und Lautsprache der Tiere kann eine sehr ausdrucksvolle und verständliche sein, wenn es sich darum handelt, bestimmte „Gemütsbewegungen", Zorn und Liebe, Trauer und Freude, Niedergeschlagenheit und Hoffnung, auszudrücken. Sehr lebhafte derartige innere

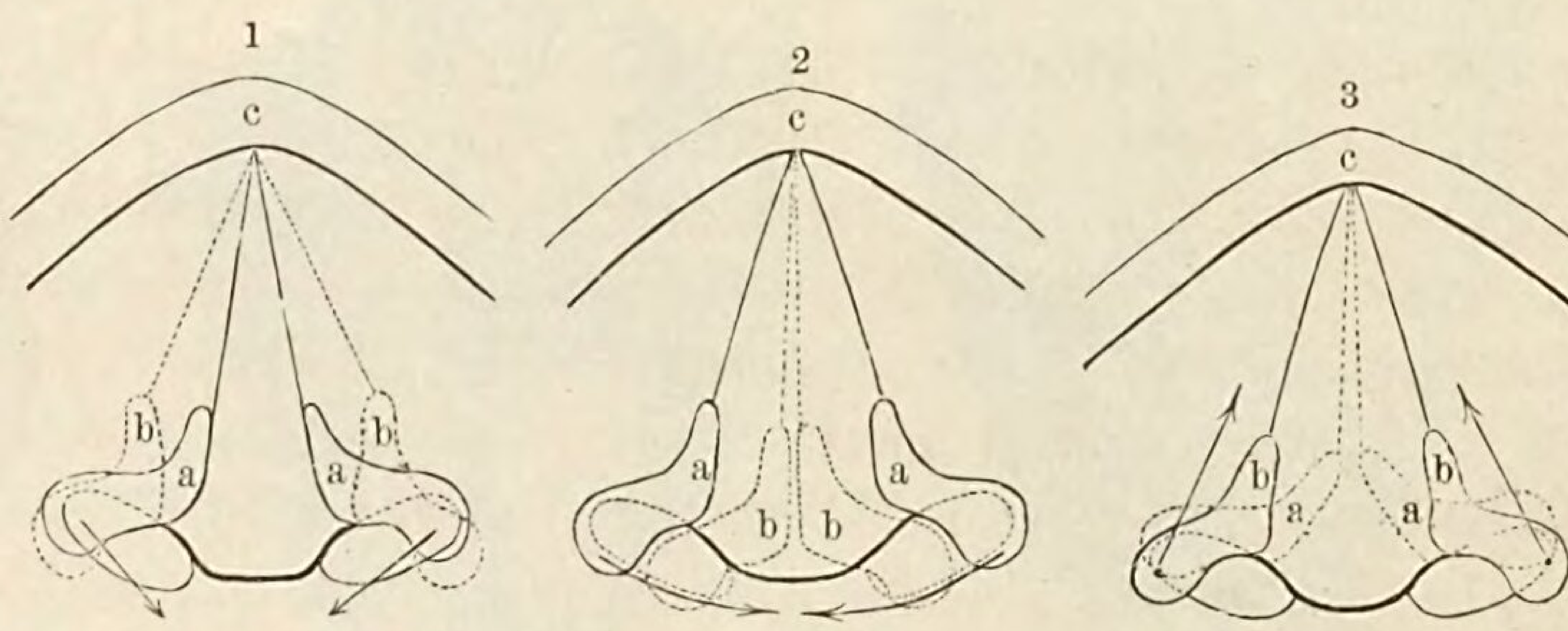
Empfindungen äußern sich neben pantomimischen Bewegungen des Gesichts und Körpers oder einzelner Körperteile, z. B. des Schwanzes bei dem Hunde, auch durch Laute, namentlich Zorn und Liebe; doch benutzt auch im letzteren Falle das Tier vorzüglich die „Sprache der Thatsachen", die nicht mißverstanden werden kann. Die Organe, welche bei dem Menschen der Bildung der Sing- und Sprechstimme dienen, besitzt der menschenähnliche Affe, wie alle höheren Säugetiere, in einem Grade der Ausbildung, daß der Mensch, mit denselben ausgerüstet, sie in sehr vollkommener Weise zur Laut- und Sprechsprache würde benutzen können. Unterschiede sind ja vorhanden, aber sie erscheinen zum Teil zu gunsten der menschenähnlichen Affen. Jeder Bassist, aber besonders jeder Volksredner, der im Freien zu sprechen hat, ist in der Lage, die menschenähnlichen Affen, Gorilla, Schimpanse und Orang-Utan (und noch mehr den amerikanischen Brüllaffen), um ihre besonderen Resonanzorgane zu beneiden, welche z. B. das brüllende Geschrei des Gorilla auf meilenweite Entfernung hörbar machen. Bei diesen Tieren buchtet sich der Kehlkopf zwischen den falschen und wahren Stimmbändern zu mächtigen luftgefüllten Kehlsäcken aus, die zwischen Schildknorpel des Kehlkopfes und Zungenbein außerhalb des Kehlkopfes, oft bis zum Schlüsselbein herabreichend, liegen. Auch bei dem Menschen buchtet sich hier der Kehlkopf in individuell etwas schwankendem Grade zu den sogenannten Morgagnischen Gruben aus, die aber nur selten bis außerhalb des Kehlkopfes hervortreten. Man sah dieses letztere Verhältnis früher als ein Rassenkennzeichen des Menschen an, was sich aber nicht bestätigt hat.

Zur Bildung der Laute der Sprache und der Töne des Gesanges werden, abgesehen von denen der Extremitäten, fast die gesamten Muskel- und Knocheneinrichtungen des menschlichen Körpers benutzt und von den inneren Organen die Lungen mit der Luftröhre, Kehlkopf, Mund und Nasenhöhle und deren Inhalt. Das ist, mit anderen Worten, der ganze der Atmung dienende Apparat. Die Luftröhre können wir mit einer der Röhren der Orgel vergleichen, an deren Ende der Kehlkopf mit dem der eigentlichen Orgelpfeife entsprechenden musikalischen Instrument, den Stimmbändern mit der Stimmritze, angebracht ist. Die Brust mit der in ihr eingeschlossenen Lunge ist die Windlade, welche durch die Brust- und Bauchmuskeln, aber namentlich durch das Zwerchfell zur Lufteinsaugung erweitert und zur Luftausstoßung zusammengepreßt werden kann, um mittels des im letzteren Falle in der Luftröhre erzeugten Luftstromes das musikalische Instrument des Kehlkopfes, die Zungenbänder der Stimmritze, anzublasen. Der Kehlkopf im ganzen, dann besonders die erwähnten Morgagnischen Gruben, die Gaumen- und Mundhöhle mit den Zähnen und Lippen, unter Umständen auch die Nasenhöhle, dienen als Resonanzhöhlen, eine Aufgabe, die bei der tiefen und starken Bruststimme übrigens auch der Lungenraum der Brusthöhle mit dem ihn umgebenden Gerüst übernimmt. Bei dem Anblasen von Blasinstrumenten übernehmen die Lippen die Rolle der Stimmbänder als schwingende musikalische Zungen; die Lippen, respektive die Mundspalte, werden auch beim Pfeifen als die eigentlichen tongebenden Apparate verwendet.

Wie gesagt, bedingt aber der Besitz dieser Organe das Sprechvermögen an sich nicht, sie sind nur zum Sprechen in der Lautsprache unentbehrlich; aber die Sprache des Menschen ist von der letzteren ganz unabhängig, sie ist eine Eigenschaft unseres Geistes, welche die Lautbildung zu ihrer Kundgebung benutzen kann, dafür aber auch die verschiedensten anderen Mittel: Schriftsprache, Zeichensprache, Signale der verschiedensten Art und vieles andere, zu verwenden vermag, wenn das eigentliche Sprechen aus irgend einem Grunde (man vergleiche das oben über Aphasie Gesagte) nicht möglich oder nicht erwünscht ist. Manche Tiere, wie z. B. die Papageien, lernen deutlich sprechen, aber sie besitzen, obwohl sie Wörter lautieren können, doch keine Sprache im Sinne der Menschensprache. Man hat darauf aufmerksam gemacht, daß Taubstumme und „Wilde" sich durch Zeichensprache leicht verständigen können. Wenigstens die Grundzeichen der

Zeichensprache für die gewöhnlichsten Bedürfnisse des Lebens sind sehr ähnlich und jedermann leichtverständlich. Es gilt das übrigens nicht für die Zeichensprache der Liebe. Der Kuß, welchen die arkadischen Dichter des Altertums und des vorigen Jahrhunderts, wie Geßner, bei der ersten Liebesbewerbung des Menschen gebraucht und verstanden dachten, ist ganzen Völkern, ja der ganzen malaiischen „Rasse“ unbekannt, wofür die gegenseitige Berührung mit der Nasenspitze, die man wohl als den „Malaienkuß“ bezeichnet hat, eintritt.

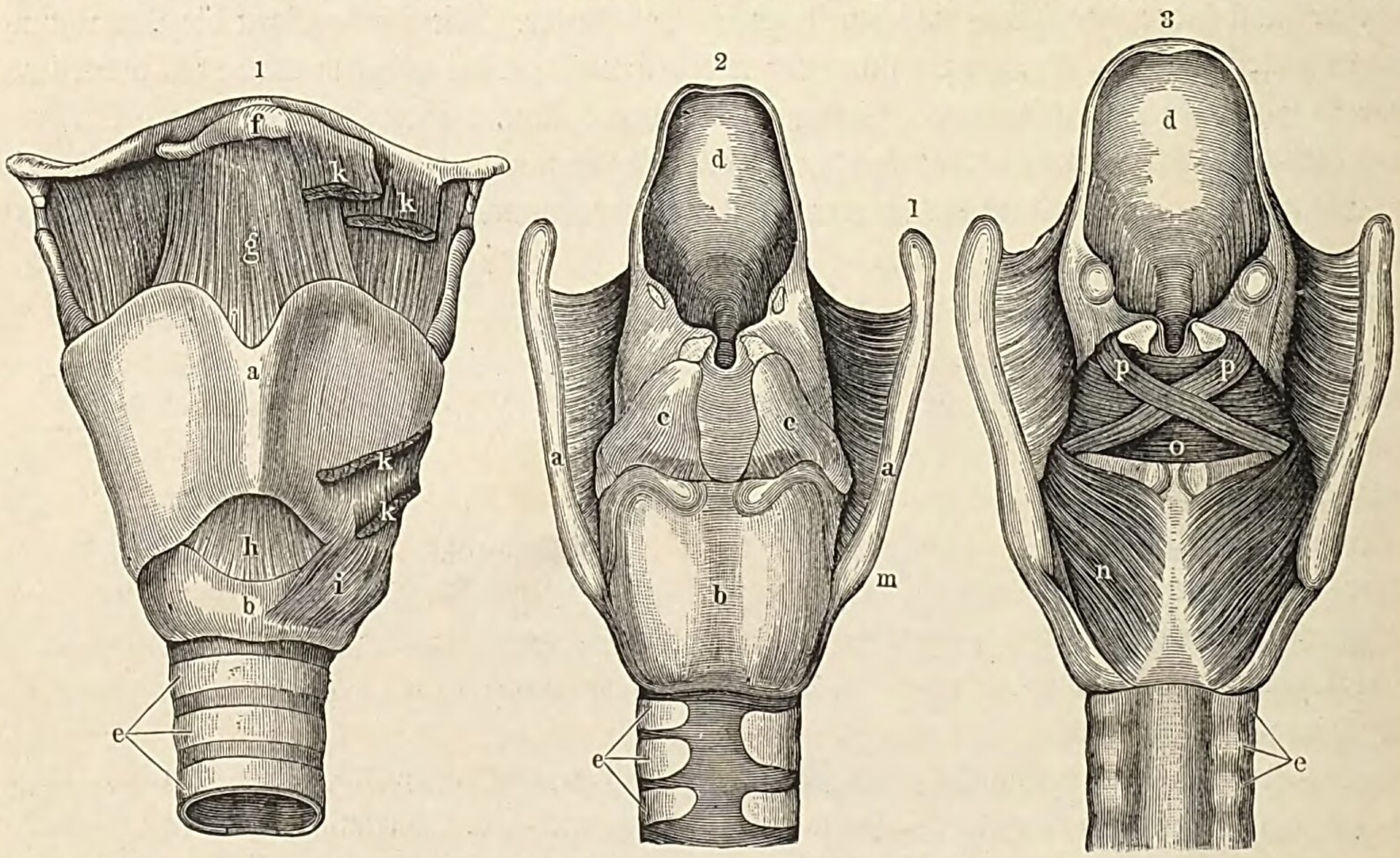
Bei der Lautsprache und dem Gesang des Menschen ist das wichtigste Instrument der **Kehlkopf** (Larynx) mit seinem musikalischen Zungenwerk, der **Stimmritze** (Glottis). Die untenstehende Abbildung stellt drei schematische Horizontalschnitte durch den Kehlkopf dar. a und b sind die Gießbeckenknorpel, c der Schildknorpel, die Linien zwischen a, b und c bedeuten die inneren Ränder der Stimmbänder, der Raum zwischen ihnen die Stimmritze. Die Pfeile zeigen die Zugrichtung der Muskeln an: 1a, 2a, 3a Stellung der Gießbeckenknorpel bei ruhigem Atmen; 1b Stellung der Gießbeckenknorpel infolge der Wirkung der hinteren Ring-Giesbeckenmuskeln; 2b Stellung der Gießbeckenknorpel infolge der Wirkung der Gießbeckenmuskeln; 3b Stellung der Gießbeckenmuskeln infolge der Wirkung des inneren Schild-Gießbeckenmuskels, Stimmbandmuskels.



Schematische Horizontalschnitte durch den Kehlkopf.

Wenn die älteren Naturphilosophen das Auge einen Organismus im Organismus genannt haben, so könnte man kaum mit geringerem Recht diese Bezeichnung auf den Kehlkopf mit seinen Hilfsapparaten anwenden. Der Kehlkopf, die Ein- und Ausgangspforte der Luftröhre, ist ein aus gegeneinander beweglichen Knorpeln zusammengesetztes hohles Gerüst, ausgekleidet, wie Mund und Rachenhöhle sowie die Luftröhre, mit einer Schleimhaut. An seiner inneren Oberfläche sind „Bänder“, die **Stimmbänder**, mit dieser Schleimhaut überkleidet, nebeneinander ausgespannt, so daß sie nur einen relativ schmalen Spalt, die Stimmritze, zwischen sich lassen; die musikalischen Schwingungen dieser Stimmbänder erzeugen die Stimme. Wie die Gesamtkörperbewegung, so beruht auch das Vermögen des Menschen, Töne und artikulierte Laute hervorzubringen, auf Stellungsveränderungen von (meist knorpeligen) Skeletteilen infolge von Muskelwirkung. Der Kehlkopf liegt an der vorderen Seite des Halses unter dem Zungenbein, als oberer Anfangsteil der Luftröhre, fast direkt unter der äußeren Haut, welche er als „Adamsapfel“ bei dem erwachsenen Manne stärker als bei dem Weibe und Kinde hervorbuchtet, da deren Kehlkopf relativ kleiner ist als der des Mannes. Die obenstehende Abbildung gibt uns eine Vorstellung von dem Bau der Knorpel des Kehlkopfes und ihrer gegenseitigen Stellung sowie von dem Ansatz der äußeren, die Stellung der Kehlkopfknorpel gegeneinander verändernden Kehlkopfmuskeln. Wir unterscheiden: **Schildknorpel** (Cartilago thyreoidea), **Ringknorpel** (Cartilago cricoidea) und die beiden kleinen **Gießbeckenknorpel** (Cartilagines arytaenoideae) sowie als bewegliche, unter Umständen, z. B. beim Schlucken, den Kehlkopfeingang deckende Klappe den knorpeligen **Kehldeckel**, von dem wir hier absehen können. Der **Schildknorpel** besteht aus zwei annähernd viereckigen Knorpelplatten, welche unter einem mehr oder weniger einem rechten sich annähernden Winkel nach vorn in eine Art Kante zusammenstoßen und hier verschmelzen, nach hinten aber weit auseinander weichen. Die beiden hinteren Ränder verlängern sich nach oben und unten in die beiden Hörner

des Schildknorpels. Der obere Rand jeder der beiden Platten ist konvex; wo nach vorn die beiden Ränder zusammenstoßen, senken sie sich zu dem oberen Schildknorpelausschnitt. Die unteren Ränder sind kürzer, S-förmig geschweift und bilden vorn den unteren Schildknorpelausschnitt. Die unteren Hörner des Schildknorpels fassen den unter dem letzteren gelegenen Ringknorpel in sich. Der Ringknorpel hat die Gestalt eines Siegelringes, dessen schmaler Reif nach vorn, dessen senkrecht aufgerichtete Platte nach hinten gewendet ist. Sein oberer Rand zeigt am hinteren Halbringe zwei ovale und konvexe Gelenkflächen für eine Gelenkverbindung mit den Unterflächen der hier aufsitzenden beiden auch nach ihrer Form benannten Gießbeckenknorpelchen. Die letzteren stehen als kleine, dreieckige, mit der oberen Spitze etwas nach hinten gekrümmte Knorpelpyramiden auf dem hinteren Abschnitt des Oberrandes des Ringknorpels und ragen in den von den



1) Kehlkopf von vorn mit den Bändern und Muskelansätzen: a) Schildknorpel, b) Ringknorpel, e) Luftröhre, f) Zungenbein, g) mittleres Schildknorpel-Zungenbeinband, h) mittleres Ring-Schildknorpelband, i) Ring-Schildknorpelmuskel, k) Muskelansätze abgetrennter Kehlkopfmuskeln. 2) Kehlkopf von hinten ohne die Muskeln: a) Schildknorpel, b) Ringknorpel, c) Gießbeckenknorpel, d) Kehldeckel, e) Luftröhre, l) oberes, m) unteres Horn des Schildknorpels. 3) Kehlkopf von hinten mit den Muskeln: d) Kehldeckel, e) Luftröhre, n) hinterer Ring-Gießbeckenmuskel, o) querer, pp) schiefe Gießbeckenmuskeln.

beiden nach hinten auseinander weichenden Platten des Schildknorpels gebildeten Zwischenraum hinauf, so daß sie oben gleichsam die hintere Kehlkopfwand darstellen. Die vordere Ecke der Basis der Gießbeckenknorpelchen bildet einen stumpfen Fortsatz, den Stimmbandfortsatz, die äußere Ecke den stärkeren, etwas nach hinten gerichteten Muskelfortsatz.

An der äußeren Oberfläche des knorpeligen Kehlkopfgerüstes liegen die Muskelpaare, deren Namen ihren Verlauf andeuten (s. oben, Abbildung 1): der Ring-Schildknorpelmuskel, Musculus crico-thyreoideus, der hintere Ring-Gießbeckenknorpelmuskel, M. crico-arytaenoideus posticus, der seitliche Ring-Gießbeckenknorpelmuskel, M. crico-arytaenoideus lateralis, die queren und schiefen Gießbeckenknorpelmuskeln, M. arytaenoideus transversus und obliquus. An der inneren Oberfläche des knorpeligen Kehlkopfes verläuft quer von vorn nach hinten durch den Kehlkopf: der innere Schild-Gießbeckenknorpelmuskel, M. thyreo-arytaenoideus, der Stimmbandmuskel, der für die Stimmbildung besonders wichtig ist. Er entspringt jederseits an der inneren (vorderen) Fläche des Schildknorpels nicht weit vom Winkel desselben und geht im Stimmband nach hinten, wo er sich am Stimmbandfortsatz seines Gießbeckenknorpels ansetzt.

Von den Bändern des Kehlkopfes, welche seine Knorpel untereinander verbinden, sind die für uns wichtigsten die falschen und wahren Stimmbänder, Ligamenta glottidis verae et spuriae. In dem Inneren des Kehlkopfes bildet der Schleimhautüberzug beiderseits zwei übereinander liegende Falten, welche vom Winkel des Schildknorpels horizontal nach rückwärts, eine Spalte, die Stimmritze, zwischen sich lassend, jede zu dem Gießbeckenknorpel ihrer Seite ziehen, das sind die falschen und die wahren Stimmbänder. Die oberen, etwas dickeren und gewulsteteren, weniger weit vorspringend, sind die falschen Stimmbänder, welche sich an der Erzeugung der Laute nicht direkt beteiligen; die unteren, breiter und dabei schärfer gerandet und von jenen oben erwähnten Schild-Gießbeckenknorpelmuskelchen durchzogen, sind die wahren Stimmbänder, der Raum zwischen ihnen ist die Stimmritze im engeren Sinne. Seitlich zwischen den falschen und wahren Stimmbändern befinden sich jene besprochenen Morgagnischen Taschen, Ventriculi Morgagni, welche auch bei dem Menschen mit bei der Resonanz der Stimme zu dienen haben.

Die Stimme des Menschen wird lediglich in der Stimmritze gebildet. Die wahren Stimmbänder sind das eigentlich Wesentliche bei der Tonerzeugung und zwar vermittelst ihrer musikalischen Schwingungen, welche sie infolge ihrer Elastizität unter den Anstößen eines meist von der Lunge her in die Luftröhre und von hier durch die Stimmritze getriebenen (Ausatmungs-) Luftstromes ausführen. Übrigens kann auch der Einatmungsluftstrom die Stimmbänder in musikalische Schwingungen versetzen. Der Kehlkopf ist, wie eine Orgelpfeife, ein membranöses „Zungenwerk“, die Stimmbänder sind die elastischen „musikalischen Zungen“. Wird ein genügend starker Luftstrom gegen diese Zungen geblasen, so versetzt er dieselben in Schwingungen, welche bis zur Tonbildung gesteigert werden können. Die Länge und Spannung der Stimmbänder, von welchen, wie bei gespannten musikalischen Saiten, ihre Tonhöhe bedingt wird, hängt von der Entfernung ihrer beiden Ansatzpunkte ab, welche durch Stellungsveränderungen des Schildknorpels gegen den Ringknorpel und durch Bewegungen der Gießbeckenknorpel verändert werden kann (s. Abbildung, S. 609). Dieser Aufgabe dient der komplizierte äußere Muskelapparat des Kehlkopfes. Eine aktive Verkürzung der Stimmbänder und innere stärkere Spannung derselben bedingen die in deren Innerem verlaufenden Stimmbandmuskeln.

Ungespannt geben die Stimmbänder, wie ungespannte musikalische Saiten, keine Töne, nur Geräusche von sich. Aber außer dem Grade der Spannung und der Stimmbandlänge bedingt auch die Stärke des Anblasens die Tonhöhe; stärkeres Anblasen steigert die Stimmbänderspannung. Bei relativ sehr hohen, vom Kehlkopf nur noch zu erzwingenden Tönen bedarf es zur Hervorrufung dieses letzten Mittels, so daß diese nur forte angegeben werden können. Dabei muß auch die Stimmritze, um die Gewalt des Luftstromes zu steigern, stärker verengert werden. Je kürzer die Stimmbänder an sich sind, desto höher ist die individuelle Tonlage des Kehlkopfes. Da der Kehlkopf der Frauen und Kinder kleiner ist, also ihre Stimmbänder kürzer sind, so haben sie auch beide eine höhere Stimmlage.

Die Genauigkeit, mit welcher von einer geübten Menschenstimme musikalische Töne angegeben werden, ist bewunderungswürdig, wenn wir bedenken, welche Feinheit der Abstufung in den Muskelspannungen, lediglich auf dem Gefühl der Richtigkeit des Tones, d. h. auf dem Gedächtnis für die für den betreffenden Ton notwendige Muskelspannung beruhend, dafür notwendig ist. Ein geübter Kehlkopfmuskel des Menschen kann je nach der Vollendung seiner musikalischen Ausbildung zwischen 40 und 170 verschiedene Spannungsgrade bei der Tonbildung innehalten. Die Organe, welche, wie die Mund- und Rachenhöhle, die Stimmritze umgeben, üben, wie gesagt, durch ihre Resonanz nur einen je nach ihrer Stellung verschiedenen Einfluß auf Klang und Stärke, nicht aber auf die Höhe des Tones aus. Bei der Fistel- oder Kopfstimme schwingen

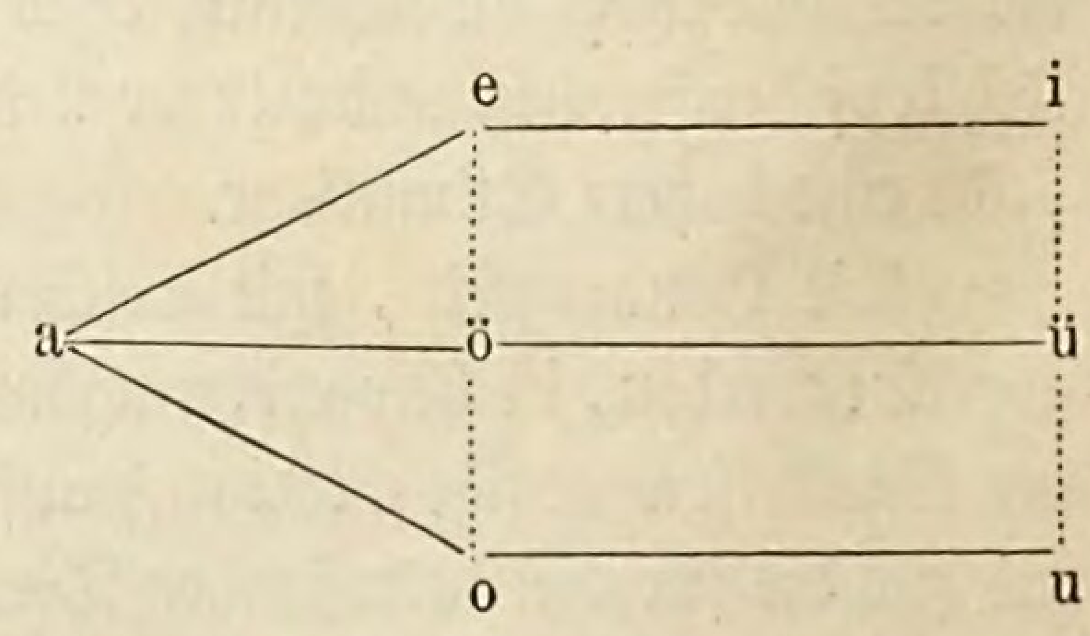
vor allem die Organe der Mund- und Nasenhöhle und die in ihnen enthaltene Luft mit, bei der Bruststimme auch der Luftraum der Brust und die Brustwandung.

Der musikalische Stimmumfang beträgt gewöhnlich 2—2½ Oktaven. Die Frauen- und Kinderstimme liegt aber höher als die Männerstimme, der Gesamtumfang der Stimme beider Geschlechter umfaßt daher etwa 2 Oktaven. Diese Grenzen werden aber vielfach nicht nur durch die Fistelstimme, sondern auch durch die Bruststimme besonders begabter Kehlen überschritten.

Die Sprechstimme unterscheidet sich dadurch von der Singstimme, daß bei der letzteren alle Töne mit Hilfe der Stimmbänder erzeugt werden, während bei der Sprechstimme sowohl Geräusche und Töne als Stimmlaute verwendet werden, bei deren Hervorbringung die Mundteile teils mitwirken, teils allein beteiligt sind; ja, in der Flüstersprache fällt die Erzeugung aller Sprechlaute den Mundteilen zu. Die einzelnen Sprechgeräusche, Laute, denen in unserer Schriftsprache der Buchstabe entspricht, werden sowohl durch die ein- als die ausströmende Atemluft erzeugt, während die beweglichen Teile der Mundhöhle, in manchen Fällen auch der Nase, sowie die Lippen, die Zahnreihen, die Zunge, der Gaumen bestimmte Stellungen eingenommen haben. Meist ist die Sprache laut, d. h. sie hat einen Klang, weil sich mit den Geräuschen der übrigen Sprechwerkzeuge Töne, durch die Stimmbänder hervorgebracht, verbinden. Bei der Flüstersprache fällt letzteres ganz weg, sie ist bei weit geöffneter Stimmritze ohne alle Schwingungen der Stimmbänder möglich.

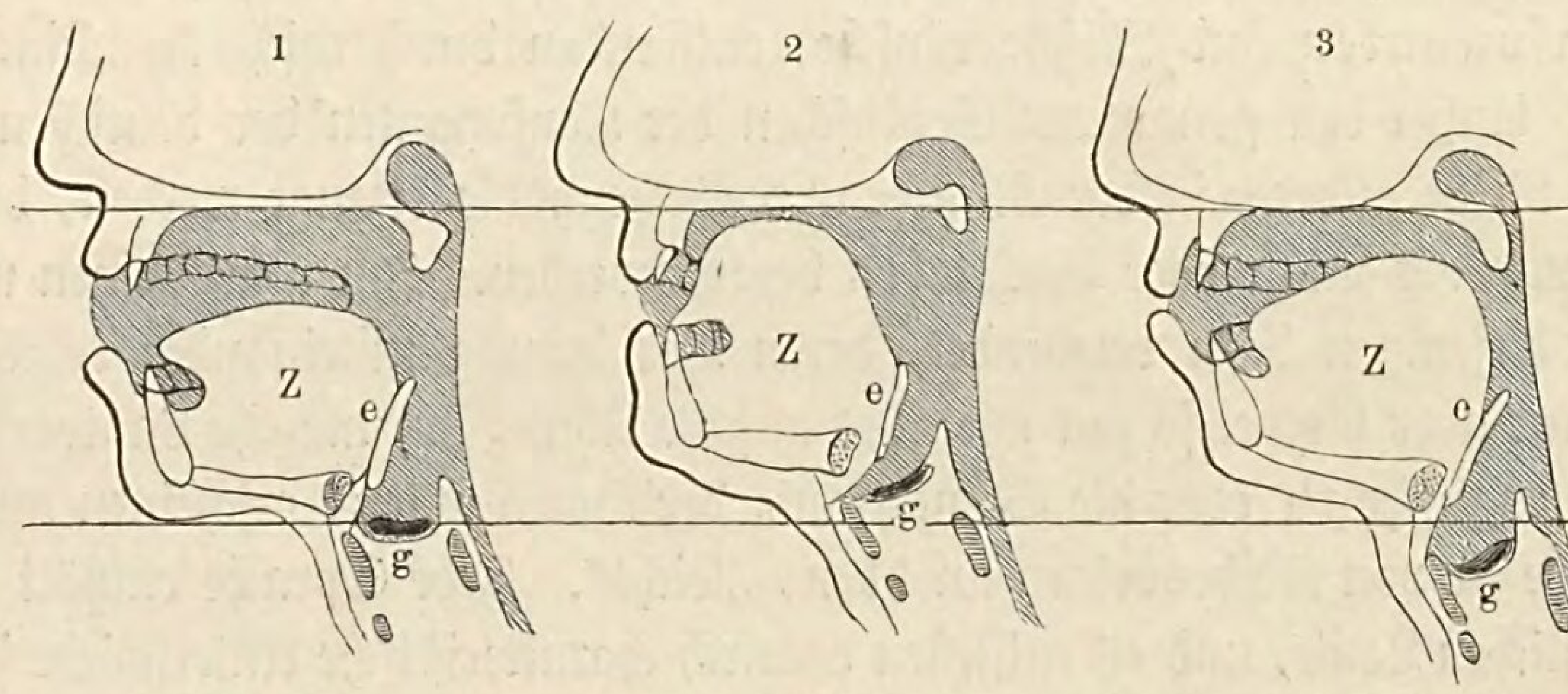
Unsere einzelnen Sprechelemente, die Sprechlaute, unterscheiden sich dadurch voneinander, daß die einen, die Konsonanten, reine, musikalisch undefinierbare Geräusche sind, während die anderen, die Vokale, den Charakter von Klängen haben. Die letzteren werden bei der Flüstersprache in der Mundhöhle selbst, ohne Mitwirkung der Stimmbänder, hervorgebracht, bei der lauten Sprache mischen sich diesen Mundhöhlenklängen noch Klänge der Stimmritze bei. Doch üben auch hierbei die Sprechwerkzeuge des Mundes den bestimmenden Einfluß aus, sie sind es, die den Laut charakterisieren; daher kommt es, daß alle Vokale in demselben Tone, jeder in den verschiedensten Tönen, gesprochen und gesungen werden können, ohne daß sie ihre Erkenntlichkeit einbüßen. Donders fand durch Beobachtung, daß der Mund durch Veränderung in der Stellung der Mundteile wirklich für verschiedene Vokale verschieden abgestimmt sei. Das ist eine der eigentümlichen Besonderheiten der „organischen Instrumente", daß sie sich (wie das Auge für das Sehen in verschiedenen Entfernungen) für die Erfüllung verschiedener Aufgaben durch innere Veränderungen akkommodieren können. In diesem Sinne unterscheidet sich das menschliche Stimmorgan von den gewöhnlichen Zungenpfeifen vor allem darin, daß ihm ein in seiner Gestalt veränderliches Ansatzrohr, Resonanzrohr, angefügt ist, eben die Mundhöhle, welche, je nachdem sie eine verschiedene Form annimmt, einzelne Töne des Instruments verstärkt oder schwächt.

Die Vokale zerfallen in drei Reihen nach der Stellung der Mundteile, welche Du Bois-Reymond der ältere in nebenstehender Figur zusammenstellte, indem der Vokal a den gemeinsamen Ausgangspunkt für alle drei Reihen bildet.



Dem Vokal a entspricht nach Helmholtz eine sich vom Kehlkopf ab ziemlich gleichmäßig trichterförmig erweiternde Gestalt der Mundhöhle (s. Abbildung, S. 613), bei o und u wird die Mundhöhle mittels der Lippen verengert, so daß dieselbe bei u vorn am engsten ist, während sie durch Herabziehen der Zunge in ihrer Mitte möglichst erweitert wird, im ganzen also die Gestalt einer Flasche ohne Hals erhält, deren Öffnung, der Mund, ziemlich eng ist. Die Tonhöhe solcher Flaschenräume wird um so tiefer, je weiter der Hohlraum und je enger ihre Mündung ist; sie lassen (meist) nur einen Eigenton mit starker Resonanz erkennen. Bei u entspricht der Mund-

eigenton dem ungestrichenen f; führt man das u in o über, so steigt die Resonanz allmählich bis auf b′; führt man die Mundhöhle aus der o-Stellung allmählich durch die zwischen a und o liegenden Mittellaute in das reine norddeutsche a über, so steigt allmählich die Resonanz um eine Oktave bis auf b″. Die zweite von a ausgehende Reihe von Vokalen, a, e, i, zeigt noch einen zweiten Eigenton. Die Lippen werden so weit zurückgezogen, daß sie den Luftstrom nicht mehr beengen, dagegen tritt eine neue Verengerung auf zwischen dem vorderen Teil der Zunge und dem harten Gaumen, während der Raum unmittelbar über dem Kehlkopf sich durch Einziehen der Zungenwurzel erweitert, wobei gleichzeitig der Kehlkopf emporsteigt. Die Form der Mundhöhle nähert sich dadurch der Gestalt einer Flasche mit engem Halse. Derartige Flaschen haben zwei deutliche Eigentöne, der eine ist der des Halses, der andere ist der des Flaschenraumes; bei den letztgenannten Vokalen finden wir dem entsprechend einen höheren und einen tieferen Resonanzton. Die höheren Töne setzen die aufsteigende Reihe von Eigentönen der Vokale u, o, a fort; dem Tone a entspricht g‴ bis as‴; e: b‴ und i: d‴. Schwerer sind die tieferen, den hinteren Abteilungen der Mundhöhle angehörenden Eigentöne zu bestimmen. ä entspricht d″, e: f′, i (wie u): f. Bei der dritten Vokalreihe, welche durch ö nach ü übergeht, bleibt die Zungenstellung die gleiche wie für die vorstehende Reihe. Für ü ist die Stellung wie für einen zwischen e und i gelegenen Vokal, bei ö die Stellung für e, aber ein wenig nachgezogen. Außer der Verengerung zwischen Zunge und Gaumen verengern sich aber auch die Lippen wieder, so daß sie sich zu einer Art Röhre formieren, die eine vordere Verlängerung der zwischen Zunge und Gaumen liegenden Röhre bildet. Die Mundhöhle stellt also Flaschen mit noch längerem Halse dar als bei der zweiten Vokalreihe. Die Tonhöhe des höheren, dem Flaschenhals angehörenden Eigentones wird dadurch etwa um eine Quart vertieft, für ö: cis‴, für ü: g‴ bis as‴. Die schwerer zu bestimmenden tieferen Eigentöne des Flaschenbauches sind für ö wie für e: f′ und für ü wie für i: f.



Mundstellung: 1) bei Bildung des Vokals a, 2) des Vokals i, 3) des Vokals u.
Z) Zunge, e) Kehldeckel, g) Stimmritze.

Die hinteren Zugänge des Gaumens zu der Nasenhöhle, die Choanenöffnungen, müssen dem Luftstrom bei der Bildung der Vokale versperrt sein, sonst nehmen diese einen näselnden Charakter an. Der Verschluß geschieht durch Hebung des Gaumensegels, am wenigsten vollständig ist er bei a, dann folgen e, o, u, i.

Die Vokale können, dem eben Gesagten nach, am charakteristischten auf Noten gesungen werden, die einen Oberton haben, der mit dem spezifischen Eigenton des Vokales harmonisch ist.

Die **Diphthonge** sind Mischlaute, rasch hintereinander gesprochene Vokale. Die **Konsonanten** sind mehr oder weniger reine **Geräusche**. Sie werden unabhängig vom Kehlkopf gebildet dadurch, daß der zum Sprechen verwendete Luftstrom die verschiedenen Rachen- und Mundteile bei verschiedenen Mundstellungen in nicht tönende Schwingungen versetzt. Einige Konsonanten, m und n, durch die Nase gesprochen, sind keine reinen Geräusche, sondern Modifikationen des Stimmklanges durch die Eigentöne der mitschwingenden, verschieden gestellten Höhlen des Mundes und der Nase. Man unterscheidet **Lippen-, Zungen-** und **Gaumenbuchstaben**, je nach dem Orte, an welchem die Geräusche gebildet werden. Stets sind die Stellen, an denen die Buch-

staben in der Mundhöhle entstehen, verengert zu sogenannten „Thoren“. Das Lippenthor für Bildung der Lippenbuchstaben p, b, f, v, w, m wird entweder durch beide Lippen gebildet oder durch die Unterlippe und obere Reihe der Schneidezähne. Das Zungenthor für Bildung der Zungenbuchstaben t, d, s (scharf), s (weich), l, n, r wird durch die Zungenspitze und den vorderen Teil des harten Gaumens oder die Rückseite der oberen Schneidezähne gebildet. Zungenwurzel und weicher Gaumen bilden das Gaumenthor für die Gaumenbuchstaben k, g, ch, j, r (im Rachen ausgesprochen). Dadurch, daß die vorher geschlossenen Thore plötzlich gesprengt oder die vorher offenen plötzlich geschlossen werden, entstehen die sogenannten Explosivlaute an allen drei Thoren: p, t, k; geschieht die Öffnung und Schließung allmählich, so werden die Laute weicher: b, d, g. Strömt die Luft allmählich durch die verengerten Thore, so entstehen wieder andere Geräusche: f, v, s (scharf), ch. Geschieht letzteres unter Mittönen der Stimme, so entstehen: w, s (weich), l, j; ist das Thor verschlossen und entweicht der Luftstrom unter Mittönen der Stimme durch die Nase: m, n; öffnet und schließt sich das Thor abwechselnd während des Durchströmens der Luft, so wird das r gebildet, das, je nach dem Dialekt oder der persönlichen Sprechgewohnheit, an dem Zungen- oder Gaumenthor entsteht. Die zusammengesetzten Konsonanten sind Mischgeräusche, entstanden durch rasche Kombination zweier Konsonanten.

Außer den genannten Geräuschen der Konsonanten der deutschen Sprache kann auch noch eine Reihe anderer in der Mund- und Rachenhöhle erzeugt werden, die aber nicht zur Sprachbildung als Laute oder Buchstaben benutzt werden. Im allgemeinen werden, nach Helmholtz, nur diejenigen dazu verwendet, deren Verbindung miteinander relativ „leicht“ ist; zweifellos kommt aber hierbei so gut wie alles auf die Übung an, manche Lautverbindungen und Laute, wie das englische th oder die Schnalzlaute der Hottentotten, erscheinen uns schwer, denen dagegen, welche sie von Kindesbeinen an üben, „leicht“. Jede Sprache enthält eine gewisse Anzahl dieser möglichen Laute, und es entstehen dadurch charakteristische Unterschiede in den einzelnen Sprachen, daß jede gewisse Klassen dieser Laute oder einzelne derselben vorzugsweise, andere sparsam oder gar nicht anwendet. Es finden sich den Buchstaben analoge Geräusche, welche in der Sprache nicht, wohl aber zu sonstigen Bezeichnungen von Gefühlen, z. B. zu Schreien, verwendet werden; man hat sie im Gegensatz zu der erlernten die natürliche Sprache genannt. Unter den möglichen Konsonantengeräuschen, die zur eigentlichen Sprache nicht verwendet werden, kommen sowohl explosive als anderweitige kontinuierliche Geräusche vor: das Schmatzen, Gurgeln, Räuspern, Hemsen, Ächzen, Küssen, Niesen, Stöhnen, Schlürfen, Schnalzen mit der Zunge. Die Hottentotten sowie andere afrikanische Völker gebrauchen, wie gesagt, verschiedene Schnalzlaute in der eigentlichen Sprache.

Nur der kann richtig sprechen, dessen Mundhöhle richtig gebaut ist, dessen Sprechorgane richtig innerviert werden. Eine Öffnung im Gaumen macht die Sprache näselnd. Durch Ungewandtheit und Unbeweglichkeit der Zunge und Störungen der Innervation entstehen Stammeln und Stottern. Das Vermögen, richtige Laute zu bilden, setzt die Kontrolle durch das eigene Gehör voraus; Taubgeborene sind stumm, taubstumm, und lernen stets nur unvollkommene Laute bilden. Aber auch normalen Verstand setzt das Sprechen voraus; vollkommen Blödsinnige haben keine eigentliche „Sprache“, ebensowenig wie Tiere. Gewisse Hirnverletzungen resp. -Erkrankungen stören, wie wir hörten, ohne die Intelligenz und die intellektuelle Sprache zu vernichten, lediglich das Sprechvermögen (einfachste Form der Aphasie), andere und tiefere stören mit dem Intellekt auch das eigentliche Sprachvermögen.

Die Aussprache der Kinder ist von der der Erwachsenen sehr verschieden, es hat das seinen Grund in der Verschiedenheit der Ausbildung der Sprechorgane. Bei den Kindern sind die Zähne klein und fehlen noch teilweise oder ganz; die Zunge ist verhältnismäßig groß, die

Lippen relativ zu lang, die Nasenhöhlen noch nicht vollkommen entwickelt. Ähnliche Veränderungen, Mangel der Zähne, relative Länge der Lippen, finden sich auch im Greisenalter wieder ein und erschweren das Sprechen, so daß die Sprache des Greises sich wieder der des Kindes annähert. Die allgemeine Muskelschwäche des Greises zeigt sich auch bei der Lautbildung und Sprache: die Stimme ist schwach, zitternd, gebrochen, ebenso der Gesang, es fehlt auch den Kehlkopfmuskeln an Kraft, langdauernde Kontraktionen auszuführen.

Mit dem Eintritt der Geschlechtsreife vergrößert sich bei beiden Geschlechtern der Kehlkopf, bei dem Manne aber ziemlich viel stärker als bei dem Weibe. Bei dem Manne entsteht dadurch eine auffallende Veränderung in der Stimmlage, da sich die Stimmbänder entsprechend verlängern; dies bezeichnet man als Stimmwechsel, Mutieren der Stimme. Die Alt- oder Sopranstimme des Knaben verwandelt sich in den männlichen Tenor oder Baß. Bei Mädchen ist der gleiche Vorgang in engere Grenzen eingeschlossen, aber immerhin vorhanden. Bei Kastraten, die vor dem Stimmwechsel verstümmelt wurden, tritt letzterer nicht ein, die Stimme bleibt dann knabenhaft hoch, ja selbst höher als der Sopran der Frauen. Wenn die Affen sprechen lernen könnten, so würden ihre langen Lippen, trotz der Stärke der Sprechorgane, ihrer Sprache wohl etwas Kindliches oder Greisenhaftes geben müssen.

Sach-Register.

Autoren-Register.

Druck vom Bibliographischen Institut in Leipzig.

Notiz für unsere Subskribenten.

Behufs eines soliden und geschmackvollen Einbandes haben wir aus bestem Material

Einband-Decken

herstellen lassen, welche die Subskribenten zum Preis von je **M. 1,50** durch die Buchhandlung, welche das Werk liefert, beziehen können.

Anweisung für den Buchbinder.

Die Rückenbreite beträgt 49 mm.

Der frische Druck verlangt eine sehr sorgfältige Behandlung; die Bände sind deshalb nur ganz wenig zu walzen, resp. zu schlagen, damit das Abschmutzen vermieden wird.

Das Buch ist genau auf

252 mm Höhe und
175 mm Breite

zu beschneiden. **Die Farbendrucktafeln dürfen erst nach dem Walzen eingeklebt werden, resp. die betreffenden Bogen sind ohne diese Tafeln zu walzen.** Zuwiderhandlung dieser Vorschrift hat die Beschädigung dieser kostspieligen Tafeln zur Folge; für Nachlieferung derartig beschädigter Tafeln haben uns infolgedessen die Herren Buchbinder schadlos zu halten.

Die Farbendrucktafeln haben folgende Anordnung:

Druck vom Bibliographischen Institut in Leipzig.

Ranke, Johannes,

Der Mensch

Bd.: 1

Leipzig [u.a.] 1894